

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS – UNIEVANGÉLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIEDADE TECNOLOGIA
E MEIO AMBIENTE

ESTUDO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO E SUAS
APLICAÇÕES NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

ISADORA RODRIGUES DE MELLO BARBOSA LOPES

ANÁPOLIS – GO

2017

ISADORA RODRIGUES DE MELLO BARBOSA LOPES

**ESTUDO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO E SUAS
APLICAÇÕES NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sociedade Tecnologia e Meio Ambiente do Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Lucimar Pinheiro Rosseto

Co-Orientador: Prof. Renato Rosseto

ANÁPOLIS – GO

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

Dissertação intitulada “ESTUDO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO E SUAS APLICAÇÕES NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO”, apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* – Mestrado Acadêmico Multidisciplinar em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente do Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dr.^a Lucimar Pinheiro Rosseto (Orientadora)

Prof.^a Dr.^a Raphaela Christina Costa Gomes (Examinadora Externa)

Prof.^a Dr.^a Josana de Castro Peixoto (Professora suplente)

ANÁPOLIS – GO

2017

AGRADECIMENTOS

Ao finalizar esse trabalho, me reporto nesse espaço, às pessoas essenciais, sem as quais a escrita dessa dissertação não seria possível e dedico a elas meus sinceros agradecimentos.

A Deus onde sempre encontrei apoio para as situações mais difíceis, por sempre estar comigo iluminando meu caminho, me guiando e me fortalecendo para que eu pudesse chegar até aqui.

A meu grande amor, Herbert Emílio que sempre esteve ao meu lado me incentivando e me dando forças para enfrentar todos os momentos difíceis, pela compreensão, carinho e amor.

Aos meus pais Marcelo e Rosélia e ao meu irmão João Pedro que em momento algum mediram esforços para a conclusão desta etapa. Obrigada por dar-me este grande exemplo de honestidade, caráter, hombridade e valor. Obrigada por estarem sempre ao meu lado. “Nos momentos de sucesso, isso pode parecer irrelevante, mas nas ocasiões de fracasso, oferecem um consolo e uma segurança que não se encontram em qualquer outro lugar.” (Bertrand Russell).

A professora Lucimar Pinheiro Rosseto que dedicou seu tempo e compartilhou sua experiência para que minha formação fosse também um aprendizado de vida, meu carinho e meu agradecimento. E também a todos os professores do mestrado.

A todos os meus amigos que fiz durante esta caminhada, pois com vocês aprendi a compartilhar angústias, alegrias, felicidades, tristezas e tantas outras coisas que enfrentamos durante essa jornada.

A todos que me auxiliaram nos ensaios necessários para a elaboração deste trabalho.

A empresa RNV Gestão e Soluções em Resíduos pelo fornecimento do material estudado nesta pesquisa e também pelo apoio.

A empresa LajeFerro Pré Moldados Melo pela ajuda na produção dos blocos.

Enfim a todos que contribuíram para que eu pudesse subir mais esse degrau não canso de agradecer. Não posso dizer que este é o fim. Este é apenas o começo da próxima jornada.

Isadora Barbosa.

RESUMO

A construção civil é o setor produtivo que gera impactos ambientais, quer seja pelo consumo de recursos naturais, modificação da paisagem, ou na geração de resíduos. Com o surgimento do conceito desenvolvimento sustentável e a necessidade de novas relações da população com o meio ambiente, a construção civil está buscando importantes transformações. Dentro dessa perspectiva, a reciclagem de resíduos tem se mostrado uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matérias-primas e pela redução das áreas de disposição, em virtude do grande volume de resíduos descartados a cada ano em todo o mundo. A utilização do Resíduo de Construção e Demolição (RCD) como material de construção ainda é pouco difundida, e trazê-lo como fonte de alternativa de matéria-prima dentro do mercado da construção civil ainda é um grande desafio. Esta pesquisa tem o objetivo de estudar o RCD beneficiado em agregado reciclado, em substituição aos agregados convencionais. Como metodologia procede-se à caracterização sob o ponto de vista químico, físico, morfológico e ambiental para posteriormente serem utilizados na produção de blocos de concreto para alvenaria. Para produção dos blocos de concreto foram consideradas quatro classes de resistência à compressão (3,0; 4,0; e 8,0 MPa) e cinco níveis de substituição, tanto do agregado miúdo reciclado (AMR), quanto do agregado graúdo reciclado (AGR), (0%, 25%, 50%, 75%, 100%). A influência do agregado reciclado foi avaliada sobre propriedades dos blocos de concreto no estado fresco (consistência e massa específica) e no estado endurecido (aspecto superficial, resistência à compressão, absorção de água, teor de umidade e massa específica seca). Com os resultados obtidos verificou-se a viabilidade ambiental, técnica e econômica na utilização dos RCD, miúdo e graúdo, em substituição de agregados convencionais na produção dos blocos de concreto. No geral, os resultados apontaram as potencialidades de utilização do resíduo de RCD na produção dos blocos de concreto.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento sustentável. Resíduos de Construção e Demolição. Agregado reciclado. Bloco de concreto.

ABSTRACT

The civil construction is the productive sector that generates environmental impacts whether, it be by the consumption of natural resources, modification of the landscape, or the generation of waste. With the emergence of the concept of sustainable development and the need for new relations between the population and the environment, civil construction is seeking important changes. Within this perspective, waste recycling has proven to be a good alternative in reducing the impact caused by the disorderly consumption of raw materials and the reduction of disposal areas, due to the large volume of waste disposed each year around the world. The use of Construction and Demolition Waste (RCD) as building material is still not widespread, and bringing it as a source of raw material alternative within the construction market is still a great challenge. This research has the objective of studying the RCD benefited in recycled aggregate, replacing the conventional aggregates. As a methodology, the characterization from the chemical, physical, morphological and environmental point of view is used to later be used in the production of concrete blocks for masonry. For the production of concrete blocks, four classes of compressive strength (3.0, 4.0 and 8.0 MPa) and five levels of substitution were considered for both the recycled kid's aggregate (AMR) and the recycled aggregate (AGR), (0%, 25%, 50%, 75%, 100%). The influence of the recycled aggregate was evaluated on properties of concrete blocks in the fresh state (consistency and specific mass) and in the hardened state (surface appearance, compressive strength, water absorption, moisture content and dry specific mass). With the results obtained, it was verified the environmental, technical and economical feasibility in the use of RCD, kid and large, replacing conventional aggregates in the production of concrete blocks. Overall, the results pointed out the potential of the use of the RCD residue in the production of concrete blocks

KEYWORDS: Sustainable development. RCD. Use. Recycled aggregate. Concrete blocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Origem dos RCD em alguns municípios Brasileiros (ANGULO, 2009).....	19
Figura 2 – Vibro -Prensa	41
Figura 3 – Sequência básica de funcionamento de uma vibro-prensa automática (SOUZA et al., 1990 apud MEDEIROS, 1993).....	42
Figura 4 – Esquemática do circuito de britagem do resíduo (BALLISTA, 2003)	45
Figura 5 – Aspecto geral da central de britagem da empresa RNV: (a) Vista geral da central de britagem; (b) Detalhe dos equipamentos da central de britagem	46
Figura 6 – Material acondicionado separadamente no pátio da empresa RNV	46
Figura 7 – Esquema para o desenvolvimeno do programa experimental.....	52
Figura 8 – Detalhe do acondicionamento dos materiais levados na esteira	59
Figura 9 – Detalhe da adição de água e aditivo	60
Figura 10 – Determinação empírica da consistência ideal do concreto através do "ponto de pelota".....	60
Figura 11 – Processo da produção dos blocos	61
Figura 12 – Difratomogramas das amostras analisadas (agregados convencionais e reciclados de RCD) para comparação	62
Figura 13 – Imagem hiperespectral gerada.....	64
Figura 14 – Imagem hiperespectral gerada – Análise agregado convencional.....	65
Figura 15 – Imagem hiperespectral gerada – Análise agregado reciclado.....	65
Figura 16 – Estimativa da média global dos valores de resistência à compressão: (a) para cada traço; (b) para cada idade. As linhas tracejadas verticais definem os grupos	75
Figura 17 – Estimativa da média global dos valores de resistência à compressão, para cada teor de substituição	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificações das dosagens e quantidade de blocos de concreto ensaiados	55
Quadro 2 – Análise de difração por raio X dos agregados convencionais e reciclados.....	63
Quadro 3 – Composição granulométrica dos agregados miúdos, convencional e reciclado...	66
Quadro 4 – Composição granulométrica dos agregados graúdos, convencional e reciclado..	67
Quadro 5 – Resultados de massa específica dos agregados miúdos e graúdos, convencional e reciclado.....	69
Quadro 6 – Resultados de massa unitária dos agregados miúdos e graúdos, convencional e reciclado.....	69
Quadro 7 – Teor de material pulverulento dos agregados miúdos, convencional e reciclado..	70
Quadro 8 – Taxa de absorção dos agregados miúdos e graúdos, convencional e reciclado	71
Quadro 9 – Perda de massa por abrasão dos agregados graúdos, convencional e reciclado....	71
Quadro 10 – Valores de trabalhabilidade	72
Quadro 11 – Massa específica dos concretos estudados no estado fresco	73
Quadro 12 – Valores médios de resistência à compressão	74
Quadro 13 – Equações geradas para resistência à compressão	74
Quadro 14 – Valores médios da absorção de água dos blocos de concreto	77
Quadro 15 – Equações geradas para absorção de água	78
Quadro 16 – Valores médios do teor de umidade	78
Quadro 17 – Valores médios da massa específica seca dos blocos de concreto	79

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de RCD
AGR	Agregado graúdo reciclado
AMR	Agregado miúdo reciclado
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP'S	Corpos de Prova
DRX	Difração por Raio X
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
SSS	Saturado com Superfície Seca

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	18
2.1 Histórico	18
2.2 Definição	19
2.3 Impacto ambiental causado pelos Resíduos de Construção e Demolição	22
2.4 Reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição	24
2.4.1 Aplicabilidade da reciclagem de RCD na construção civil	27
3 BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA	29
3.1 Histórico e definição	29
3.2 Características	30
3.3 Classificação	31
3.3.1 Dimensão	31
3.3.2 Blocos aparentes	31
3.3.3 Requisitos físicos-mecânicos	31
3.4 Materiais empregados na produção dos blocos	32
3.4.1 Concreto	32
3.4.2 Cimento	33
3.4.3 Agregados	33
3.4.3.1 Agregados reciclados	34
3.4.4 Água	35
3.4.5 Aditivos	35
3.5 Dosagem	36
3.6 Caracterização dos agregados	38
3.7 Produção dos blocos de concreto	41
3.7.1 Equipamentos	41
3.7.2 Mistura e moldagem	41
3.7.3 Cura	43
4 PARTE EXPERIMENTAL	45
4.1 Agregados reciclados de RCD	45
4.1.1 Procedência do agregado reciclado de RCD	45

4.1.2	Prepro da amostra do agregado reciclado de RCD.....	45
4.2	Caracterização dos agregados convencionais e reciclados de RCD	46
4.2.1	Análises químicas	47
4.2.1.1	Difração de raio X.....	47
4.2.1.2	Imagem Hiperespectral	47
4.2.1.3	Pozolanicidade	48
4.2.2	Análises físicas	48
4.2.2.1	Composição granulométrica	48
4.2.2.2	Massa específica	49
4.2.2.3	Massa unitária	49
4.2.2.4	Teor de material pulverulento	49
4.2.2.5	Absorção de água	50
4.2.2.6	Desgaste po rabrasão.....	51
4.3	Planejamento dos ensaios para avaliação dos blocos	51
4.3.1	Variáveis independentes	52
4.3.2	Variáveis dependentes	53
4.4	Produção dos corpos de prova	54
4.4.1	Planejamento da amostra	54
4.4.2	Produção dos blocos de concreto	56
4.4.2.1	Cimento.....	57
4.4.2.2	Agregados	57
4.4.2.3	Elaboração do traço.....	57
4.4.2.4	Misturador planetário.....	58
4.4.2.5	Prensa hidráulica MBP4.....	58
4.4.2.6	Procedimentos	58
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.1	Caracterização dos agregados convencionais e reciclados de RCD	62
5.1.1	Análises químicas	62
5.1.1.1	Difração de raio X.....	62
5.1.1.2	Imagem Hiperespectral	64
5.1.1.3	Pozolanicidade	66
5.1.2	Análises físicas	66
5.1.2.1	Composição granulométrica	66
5.1.2.2	Massa específica	68

5.1.2.3 Massa unitária	69
5.1.2.4 Teor de material pulverulento	70
5.1.2.5 Absorção de água	70
5.1.2.6 Desgaste po rabrasão.....	71
5.2 Blocos de concreto – substituição dos agregados convencionais pelos agregados de RCD	72
5.2.1 Concreto fresco para produção de blocos	72
5.2.1.1 Trabalhabilidade	72
5.2.1.2 Massa específica	73
5.2.2 Concreto no estado endurecido	73
5.2.2.1 Resistencia à compressão.....	73
5.2.2.2 Absorção de água	77
5.2.2.3 Teor de umidade	78
5.2.2.4 Massa específica seca.....	79
6 CONDIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente tem sido a mola propulsora para reavaliação de vários dos processos produtivos em toda a sociedade. A população mundial tem se voltado para os conceitos de sustentabilidade e desta forma, segmentos ligados à ciência e tecnologia vêm buscando alternativas para controlar ou minimizar danos causados pelo consumo indiscriminado de matéria-prima, energia e alto volume de resíduos gerados (LEITE, 2001).

A crescente e diversificada geração de resíduos no meio urbano e a necessidade de sua disposição final, está entre os mais sérios problemas ambientais, defrontados tanto por países centrais como pelas sociedades em desenvolvimento. A geração de resíduos e o consumo de recursos naturais e energia tem crescido diretamente proporcional ao aumento da população, porém desproporcional à disponibilidade de soluções para o gerenciamento destes resíduos (DIAS, 2010).

A quantidade de resíduo gerado, tanto pela atividade da construção civil como por qualquer outra fonte geradora se torna uma grande problemática quando são depositados indiscriminadamente em vales, margens de rios, a céu aberto ou em aterros desprovidos de qualquer tratamento específico. Somam-se a isto, os problemas gerados à própria população e ao meio ambiente por meio da contaminação das águas superficiais, surgimento de zoonoses e a poluição visual (BUTTLER, 2003).

Segundo Sjöström (2000), a construção civil, que representa um dos setores de maior vulto na sociedade, chegando a contribuir com cerca de 25 % do Produto Interno Bruto (PIB), é considerada uma das maiores agentes de degradação do meio ambiente. A quantidade de energia e recursos naturais consumidos e o volume de resíduos gerados pelo setor são bastante significativos, indo desde a obtenção de matérias primas, passando pela montagem do produto até sua utilização e demolição.

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; o nível de desenvolvimento sociocultural e econômico dos centros urbanos; reformas; demolições e desastres naturais.

Portanto, não faltam razões para o aumento do volume de resíduos de construção e demolição. Entretanto, não é só a geração de resíduos que preocupa o setor. Atualmente, encontrar bons agregados naturais próximos a 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, 2001).

Os resíduos gerados pela construção civil podem ser líquidos, gasosos ou sólidos. Durante muito tempo, como decorrência da pequena população existente na terra, bem como da incipiente organização social, estes resíduos foram tratados normalmente pela natureza, sendo processados dentro do ciclo natural de transformação da matéria, resultantes da capacidade de autodepuração da natureza (SILVA, 1977). Hoje, diante da necessidade e busca de um desenvolvimento sustentável, os pesquisadores e toda a sociedade se veem na responsabilidade de assumirem perfis ecologicamente corretos, que busquem a preservação dos recursos naturais e a conservação de energia com vistas a uma maior harmonia e proteção ao meio ambiente, garantindo melhores expectativas de qualidade de vida às gerações futuras (PENTALLA, 1997; ANGULO et al., 2001; CARNEIRO et al., 2001; ALVES, 2002; LIPPIATT, 2002).

A reciclagem é, sem dúvida, a melhor alternativa para reduzir o impacto que o ambiente pode sofrer com o consumo de matéria prima e a geração desordenada de resíduos. Nos últimos anos, a reciclagem de resíduos tem sido incentivada em todo o mundo, seja por questões políticas, econômicas ou ecológicas. A reciclagem de resíduos de construção irá minimizar também os problemas com o gerenciamento dos resíduos sólidos dos municípios. Haverá um crescimento da vida útil dos aterros, diminuição dos pontos de descarte clandestinos e redução dos custos de gerenciamento de resíduos. Adicionalmente, haverá um melhor bem-estar social e ambiental. Ela vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade, seja atenuando o impacto gerado pelo setor ou reduzindo os custos. Neste contexto, as pesquisas relacionadas à reciclagem do entulho se evidenciaram em outros países, como Alemanha, China e Japão, a partir de 1968, em simpósios relacionados sobre o tema e, com a criação, após 1974, de comitês de entidades normatizadoras (CINCOTTO, 1983; ZORDAN, 1997).

Dentre os vários resíduos da construção civil, os resíduos de construção e demolição possuem importância relevante, dado ao volume bastante representativo gerado, devido ao conhecimento das propriedades básicas do material de origem e seu menor grau de

contaminação por outros materiais, quando comparado com outros resíduos da construção (BUTTLER, 2003). Transformá-los em fonte alternativa de matéria-prima dentro do próprio setor, constitui um desafio para o meio técnico-científico.

Algumas utilizações dos resíduos de construção e demolição (RCD) já são bem difundidas, como a utilização em base e sub-base de pavimentos, produção de concretos magros sem fins estruturais, tijolo solo-cimento, utilização em projetos de drenagem, entre outros. Todavia, muitos autores concordam que o mercado dos resíduos de construção deve crescer e, em paralelo a isso, que a sua utilização no concreto é sem dúvida uma das melhores alternativas para que tal propósito seja alcançado (BUTTLER, 2003; CARNEIRO et al., 2001; FONSECA SILVA et al., 2001; LEITE, 2001).

Conforme Leite (2001), os resíduos de construção e demolição possuem um grande potencial para serem reutilizados como matéria-prima, devido às vantagens significativas que estes oferecem em relação aos demais resíduos, provenientes do conhecimento das propriedades do material de origem. Entretanto, apesar de inúmeras pesquisas desenvolvidas no exterior, principalmente na Alemanha e Japão, que atestam o grande potencial do material, o Brasil ainda necessita de pesquisas que sirvam como ferramenta para a utilização desse material; acrescenta-se a isso, a falta de informação, por parte da população, e o cumprimento das regulamentações que punam os responsáveis pela disposição final inadequada de resíduos no meio ambiente.

Durante a ECO-92 e a definição da Agenda 21, teve destaque a necessidade de se implementar um adequado sistema de gestão ambiental para os resíduos sólidos (GÜNTHER, 2000). Uma das soluções para os problemas gerados é a reciclagem dos resíduos em que a construção civil tem um grande potencial de utilização dos mesmos, uma vez que ela chega a consumir até 75% dos recursos naturais (JOHN, 2000; LEVY, 1997; PINTO, 1999).

A geração de RCD é diretamente proporcional ao crescimento e ao desenvolvimento econômico de uma sociedade. Além disso, a humanidade torna-se cada vez mais urbana e a produção de resíduos cresce proporcionalmente à urbanização (TESSARO et al., 2012). A grande quantidade de resíduos gerados nas áreas urbanizadas ocorre em consequência das demolições em processos de renovação urbana e edificações novas, oriunda do desperdício de materiais em consequência da característica arquitetônica da construção (KARPINSK et al., 2009).

Tendo em vista que a geração de RCD é inevitável, seja devido aos desastres naturais ou à necessidade de modificação do ambiente, a definição de bases políticas e legais, capazes de proporcionar subsídios tecnológicos e econômicos para reverter o atual quadro de degradação ambiental e exploração descontrolada dos recursos naturais, são fatores essenciais para alcançar o desenvolvimento sustentável (SANTOS, 2007).

E observando a questão financeira, grande parte das construtoras não vê os resíduos como oportunidade para aumentar as receitas, e assim reduzir desperdícios. Na verdade, o principal fator para a adesão à reciclagem tem sido o apelo ecológico e não o econômico (SACHS, 2012).

De maneira geral, as pesquisas e tecnologias para o reaproveitamento dos resíduos de construção e demolição no Brasil, ainda estão começando e os principais estudos estão relacionados com a reciclagem de entulho de construção e demolição que possui propriedades totalmente diferentes. Dentro desse contexto, torna-se importante conhecer as propriedades físicas dos agregados reciclados e dos concretos confeccionados com esses agregados, com o objetivo de viabilizar sua utilização.

O grande volume de RCD gerados por meio da ampliação dos sistemas de construção e demolição de habitações, a indisponibilidade de locais adequados, para disposição destes resíduos e a falta de tecnologias, para aproveitamento destes, justifica a necessidade de que sejam estudadas, com urgência, alternativas seguras para a disposição dos resíduos de construção e demolição.

Conforme Buttler (2003), os resíduos de concreto possuem um grande potencial para serem reutilizados como matéria-prima, devido às vantagens significativas que estes oferecem em relação aos demais resíduos, provenientes do conhecimento das propriedades do material de origem.

A sociedade está se tornando cada vez mais exigente em relação à questão ambiental. O RCD apresenta-se como um problema nas áreas urbanas, pois sua geração e descarte inadequado causam diversos impactos ambientais, sociais e econômicos. As soluções para esses problemas passam por desenvolvimento e implantação de tecnologias adequadas, que busquem a redução, reutilização e reciclagem desses resíduos.

A importância desta pesquisa está no fato de se tratar de uma tentativa de alterar o pensamento vigente na cultura brasileira, uma vez que o termo “resíduo” é conferido a um material que resta em qualquer substância, e visto como sinônimo de um material sem valor.

Ao resíduo de concreto sempre foi dispensado o mesmo tratamento dado ao lixo. Algo que se pode vender, se houver alguém disposto a pagar por ele, ou em caso contrário, paga-se a alguém para levá-lo, sem se preocupar sobre o destino que lhe será dado. Isto sempre foi facilmente resolvido pelos transportadores de resíduos, que acabam jogando os materiais em locais nem sempre permitidos. O resultado ainda pode ser visto nos bota-foras clandestinos e na degradação de áreas urbanas: rios e córregos assoreados, bueiros e galerias entupidos e, conseqüentemente, enchentes em vias marginais, que acabam comprometendo a qualidade de vida da sociedade (ZORDAN, 1997; CARNEIRO et al., 2001).

A justificativa para elaboração desta pesquisa está no fato que, poderá ser adquirido conhecimento tecnológico necessário e suficiente para se produzir blocos de concreto não estruturais e estruturais, utilizando-se agregado de construção e demolição, e adequado às necessidades da maioria das obras usualmente executadas no território nacional, cuja resistência varia de 3,0 a 8,0 Mpa. Em função do estudo ambiental para posterior indicação.

Neste estudo foram analisadas as propriedades dos agregados reciclados de RCD com o objetivo de identificar alternativas mais adequadas para o aproveitamento do resíduo de RCD. Serão apresentadas nesta pesquisa a procedência e amostragem do resíduo de RCD, seguida pela etapa de preparação da amostra, seleção e caracterização dos materiais utilizados no programa experimental, quais sejam: cimento, agregados reciclados de RCD e agregados convencionais. Por fim, apresenta-se uma avaliação do potencial de reaproveitamento deste resíduo.

Sendo assim, a presente pesquisa tem como objetivo principal contribuir para os estudos de alternativas de disposição final do RCD, avaliando a utilização destes resíduos, após o processo de reciclagem, como agregado miúdo (areia) e graúdo (brita) na confecção de blocos de concreto para alvenaria com e sem função estrutural. Contribuindo para os estudos de alternativas de disposição final do RCD. E seus objetivos específicos são:

- a) caracterizar os agregados reciclados de RCD (análises químicas, físicas, morfológicas);

- b) avaliar o desempenho dos agregados reciclados de RCD em blocos de concreto com diferentes classes de resistência (3,0; 4,0; e 8,0 MPa) e teor de substituição (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) quanto às seguintes propriedades: no estado fresco (trabalhabilidade e massa específica) e no estado endurecido (aspecto superficial, resistência à compressão, absorção de água, teor de umidade e massa específica aparente seca).

2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

2.1 Histórico

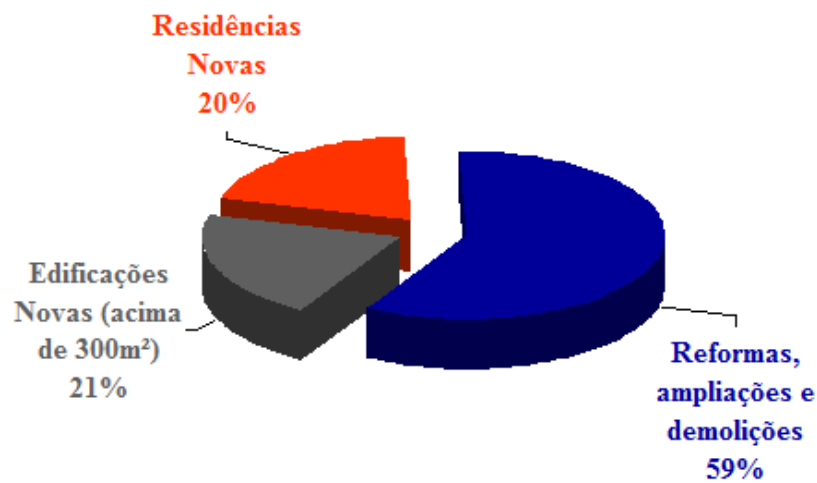
Os estudos de resíduos de construção e reciclagem datam de tempos remotos. Schulz e Hendricks (1992) encontraram registros da utilização de alvenaria britada para produção de concreto desde a época dos romanos.

Todavia, a primeira utilização representativa de resíduos de construção e demolição foi registrada ao 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).

Em 1977, no Japão, foram propostas as primeiras normas para utilização de agregado reciclado de concreto. A partir da década de 1980, normas e recomendações também entraram em vigor nos Países Baixos, na Dinamarca, na Rússia e na Alemanha, entre outros. E mais estudos estão sendo desenvolvidos em outros países como: França, Espanha, Bélgica, Noruega, Arábia Saudita, China, entre outros (QUEBAUD, 1996; BALLISTA & MACHADO Jr., 2000).

No Brasil, as primeiras pesquisas científicas envolvendo o uso de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (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 (2000) 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 – Origem dos RCD em alguns municípios brasileiros



Fonte: ÂNGULO, 2000

A partir de 2000, foram desenvolvidas pesquisas sistemáticas relacionadas ao uso do RCD, como variabilidade dos agregados (ÂNGULO, 2000), uso de agregados reciclados em argamassas (MIRANDA, 2000), concretos pré-moldados (BUTTLER, 2003; SOUSA, 2001) e concretos em geral (ÂNGULO, 2000; LEITE, 2001).

Em 2002 foi homologada a Resolução n°. 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), 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.

2.2 Definição

Os resíduos da construção são resíduos provenientes de construções, 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, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. (NBR 15113, ABNT 2004)

Na construção civil, praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor são geradoras de resíduos, sendo o alto índice de perdas devido ao excesso de consumo de

recursos naturais e o processo construtivo, a principal causa da geração de RCD (OLIVEIRA, 2008).

Segundo John (2000) a geração do resíduo durante a fase de construção é em decorrência das perdas dos processos construtivos. Sendo que parte destas perdas permanece incorporada nas construções, na forma de componentes cujas dimensões finais são superiores às projetadas, que é o caso de argamassas de revestimento, concretos etc. E a outra parcela vai se converter em resíduo de construção.

Menezes (2011) diz que todo o material que se incorpora a obra em excesso é um desperdício, sem haver resíduo e todo aquele material que não se incorpora à obra, durante a fase de construção, se torna o resíduo gerado. Esses resíduos gerados são constituídos de restos de argamassa e concreto, materiais cerâmicos, metais, plásticos, madeiras, papéis e vidros.

Do ponto de vista ambiental, o principal problema em relação a esses resíduos gerados é a sua disposição irregular, isso se deve ao fato das grandes quantidades produzidas, em função dos desperdícios de obras que ainda insistem em utilizar métodos tradicionais e ultrapassados de construção (PATTO, 2006).

Sendo assim, Cabral *et al.* (2011) descreve que a disposição inadequada do RCD compromete a paisagem do local; o tráfego de pedestres e de veículos; provoca o assoreamento de rios, córregos e lagos; o entupimento da drenagem urbana, acarretando em enchentes; além de servirem de pretexto para o depósito irregular de outros resíduos não-inertes, propiciando o aparecimento e a multiplicação de vetores de doenças, arriscando a saúde da população vizinha.

A disponibilização de locais e instalações para a recepção, triagem e processamento dos resíduos da construção civil, proporciona às cidades e suas comunidades benefícios ambientais, econômicos e sociais. Eliminam, em grande parte, os despejos clandestinos, melhoram a paisagem urbana e possibilitam uma melhor qualidade de vida a seus habitantes. Além disso, reduz os custos operacionais da administração com a remoção, que é estimada em US\$10 por metro cúbico de entulho clandestinamente depositado (SCHENINI *et al.*, 2014).

A Resolução nº 307 do CONAMA, de 5 de julho de 2002, estabeleceu diretrizes para a gestão dos resíduos da construção e demolição, direcionando responsabilidades para os geradores de RCD, tanto do poder público como da iniciativa privada, e também definiu e classificou aquilo que, na linguagem popular, é chamado de “entulho”.

O Art. 1º da Resolução nº 307/2002, (modificada pelas Resoluções nº. 348/2004, 431/2011 e 448/2012) do CONAMA estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

Já de acordo com o Art. 3º da Resolução nº 307/2002, do CONAMA, os resíduos são classificados da seguinte forma:

- Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
 - a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
 - c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;
- Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis, que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
- Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bens como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

A partir dessa classificação, todos os setores da construção civil devem ter como objetivo não gerar resíduos, mas, se gerarem, devem cuidar de sua reutilização, reciclagem e destinação final correta. Cada município tem a responsabilidade de estabelecer ações para que seja cumprida a Resolução do Conama. Inclusive, deve disponibilizar uma área própria para o depósito desse tipo de material, já que, de forma nenhuma ele pode ser destinado para os aterros comuns.

2.3 Impacto ambiental causado pelos Resíduos de Construção e Demolição

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 é uma das mais antigas em todo o mundo e se utiliza de técnicas e materiais que não mudaram muito ao longo do tempo. A preocupação com o meio ambiente tem levado as indústrias a repensar novas metodologias e técnicas de construção (LEITE, 2001).

Do ponto de vista ambiental, o principal problema acontece com a disposição irregular dos resíduos, devido também às grandes quantidades produzidas, em função dos desperdícios de obras que ainda insistem em utilizar métodos tradicionais e ultrapassados de construção (PATTO, 2006).

A remoção dos entulhos dispostos irregularmente, os transtornos sociais causados pelas enchentes e os danos ao meio ambiente, representam custos elevados para o poder público e para a sociedade, apontando para a necessidade do estabelecimento de novos métodos para a gestão dos Resíduos de Construção Civil (RCC) e o RCD (MENEZES et al. 2011 apud PINTO, 1999).

De acordo com John (2002 apud PINTO, 1999) nas grandes cidades brasileiras as atividades de canteiro de obras são responsáveis por aproximadamente 50 % dos resíduos de

construção e demolição, enquanto que a atividade de demolição e manutenção são responsáveis pela outra metade.

Calcula-se que a quantidade produzida de RCC/RCD oscila entre 0,7 e 1,0 t por habitante/ano no mundo (MENEZES et al. 2011 apud JHON, 1999; JHON, 2000).

Ainda segundo Menezes et al., (2011) no Brasil gera-se cerca de 68,5 milhões de toneladas por ano.

Os RCD representam, em média, 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos, tanto no Brasil como em outros países (ANGULO, 2000 apud PINTO, 1999; JOHN, 2000).

Tendo em vista que a geração de RCD é inevitável, seja devido aos desastres naturais ou à necessidade de modificação do ambiente, a definição de bases políticas e legais, capazes de proporcionar subsídios tecnológicos e econômicos para reverter o atual quadro de degradação ambiental e exploração descontrolada dos recursos naturais, são fatores essenciais para alcançar o desenvolvimento sustentável (SANTOS, 2007).

Assim, a utilização de novos materiais, mais benéficos ao meio ambiente, tem sido avaliada. A incorporação de materiais reciclados ao concreto pode ser considerada como uma boa ferramenta para a conservação de energia e de recursos naturais, e para aumentar a vida útil das áreas de disposição de resíduos (ÂNGULO, 2000).

A construção “sustentável” deve atentar para o conceito de “cadeia de gerenciamento integrada” que pode ser considerada como o fechamento do ciclo de vida de um produto, ou material, de forma que somente uma pequena quantidade de matéria-prima seja descartada e, ao mesmo tempo, se maximize a sua reutilização e reciclagem (HENDRIKS et al., 1998). Entretanto, diversos estudos abordam a dificuldade em encerrar satisfatoriamente o ciclo de vida dos componentes dentro da construção civil. Kibert et al. (2000) afirmam que isso se deve principalmente ao fato das edificações, bem como materiais componentes não serem projetados para serem posteriormente desmontados. Além disso, alguns dos materiais utilizados na construção, como madeiras laminadas, perfis plásticos extrudados, entre outros, apresentam dificuldade de reciclagem.

2.4 Reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição

Uma das formas de diminuir a geração do entulho é a reciclagem de resíduos. Na construção civil, ela é mais interessante devido a grande quantidade de entulho gerado, potencial de reciclagem e uso excessivo dos recursos naturais, cerca de 75% (SALSA, 2015).

Neste contexto, em 2010 foi aprovada a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Ela contém diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos e reúne as ações adotadas pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares (PNRS, 2010). Constam no capítulo III, da citada Lei, alguns princípios de incentivo à reciclagem e uso de produtos reciclados e a disposição adequada dos resíduos:

“Artigo 6º - São princípios da Política Nacional e Resíduos Sólidos:.....
 VIII – o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor da cidadania.
 Artigo 7º - São objetivos da Política Nacional dos Resíduos Sólidos:.....
 II – não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
 IV – incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados.
 XI – prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para: a) produtos reciclados e recicláveis;”

Na construção civil a reciclagem de resíduos vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade seja atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor ou reduzindo os custos (ANGULO et al., 2001). Além de todas as vantagens ambientais e econômicas conferidas a reciclagem na construção civil, a reciclagem do RCD ganha um destaque dentro do cenário da administração pública, pois seu aproveitamento ameniza o problema de local para descartes, cria uma gestão diferenciada, deixando de ser corretiva, ganhando destaque dentro da gestão ambiental e econômica (PINTO, 1999).

De acordo com a NBR 15116 (ABNT, 2004) a reciclagem é um processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação.

Para o reaproveitamento dos resíduos de construção e demolição seria ideal que não fosse necessário nenhum tipo de beneficiamento. Mas, como estes materiais normalmente vêm em grandes dimensões, torna-se imprescindível realizar algumas operações de beneficiamento (LOVATO, 2007). Para Leite (2001), é importante que haja a instalação de uma usina de reciclagem para assim ocorrer o processo de implantação de um programa de

reciclagem de RCD. Angulo (2000), diz que a reciclagem de maneira simplificada é um beneficiamento mineral.

O processo de reciclagem do entulho para obtenção de agregados basicamente envolve a seleção dos materiais recicláveis do entulho e a trituração em equipamentos apropriados, seguindo uma sequência de trabalho que vai da escolha dos materiais recicláveis do entulho, passando pela trituração e peneiramento, indo formar o agregado reciclado. Este agregado apresenta propriedades físicas, mecânicas, químicas e ambientais apropriadas para a produção de materiais de construção (PATTO, 2006).

Para Menezes (2011), a reciclagem na construção civil pode gerar vários benefícios como redução no consumo de matérias-primas e insumos energéticos e redução de áreas necessárias para aterro e também vantagens potenciais do ponto de vista da sustentabilidade. No entanto, a vantagem ambiental de um processo de reciclagem, somente pode ser dada como certa, após análise específica através de ferramentas, como a da análise do ciclo de vida (JHON, 2000).

De acordo com Angulo et al. (2001) a reciclagem tem surgido como uma forma de amenizar a ação nociva dos resíduos no ambiente urbano, gerando ainda novos produtos comercializáveis. Desta forma, os agregados reciclados de RCD podem ser utilizados em diversos novos produtos, como argamassas, concretos e blocos de construção.

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição é viável do ponto de vista técnico e ambiental. O risco de contaminação ambiental por este tipo de reciclagem pode ser considerado baixo, embora um controle mínimo seja desejável especialmente quando se trata de RCD oriundos de instalações industriais (JOHN, 2000).

Ao ser reciclado, o entulho apresenta propriedades físicas, mecânicas, químicas e ambientais apropriadas para a produção de materiais de construção, como agregado. Este resíduo é caracterizado como material inerte e apresenta um grande potencial para reutilização e reciclagem (PATTO, 2006 apud BRUM, 2000).

As vantagens de se reciclar entulho são enormes, pois se elimina o custo de coleta e disposição final pelos municípios e, além disso, pela reciclagem pode-se obter agregado para a produção de concreto a baixo custo, podendo ainda serem vendidos a terceiros,

barateando o custo das construções que possam se utilizar deste agregado para produzir concreto não-estrutural (PATTO, 2006).

Um dos problemas inerentes ao uso de agregados reciclados é a possibilidade de existirem contaminantes (LOVATO, 2007). Esses materiais podem causar efeitos negativos nas propriedades mecânicas dos concretos reciclados e na sua durabilidade (LOVATO, 2007 apud LEITE, 2001).

A reciclagem dos RCD contaminados com materiais não-inertes produz reciclados de pouca qualidade. Então, é fundamental a separação dos diversos tipos de resíduos produzidos, onde a fase inerte é a que possui maior potencial de reciclagem para produção de reciclados de boa qualidade a serem reaproveitados na própria construção civil (CABRAL, 2011).

Neste sentido, Angulo et al. (2001) diz que a reciclagem de resíduos, assim como qualquer atividade humana, também pode causar impactos ao meio ambiente. Variáveis como o tipo de resíduo, a tecnologia empregada, e a utilização proposta para o material reciclado, podem tornar o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo o era antes de ser reciclado. Dessa forma, o processo de reciclagem acarreta riscos ambientais que precisam ser adequadamente gerenciados.

Ainda segundo Angulo et al. (2001) é preciso que a escolha da reciclagem de um resíduo seja criteriosa e pondere todas as alternativas possíveis com relação ao consumo de energia e matéria-prima pelo processo de reciclagem escolhido.

As metas para se atingir desenvolvimento sustentável empregando resíduos na construção civil devem contemplar a reciclagem e uma metodologia p&d é fundamental para um mercado efetivo para os resíduos (ANGULO et al., 2001).

Dessa forma, a reciclagem de RCD é uma forma de aproximar o setor da sustentabilidade através da redução dos impactos negativos dos seus resíduos nas cidades e da geração de matéria-prima que pode ser substituída pela natural, não-renovável (ANGULO, 2004).

Portanto, promover a reciclagem de resíduos é o caminho mais curto para se evitar diversos problemas que podem atingir o meio ambiente e prejudicar as condições de

sobrevivência da raça humana no planeta, com as vantagens adicionais de poder criar, aquecer e movimentar uma economia (PATTO, 2006).

2.4.1 Aplicabilidade da reciclagem de RCD na construção civil

Várias são as possibilidades de reaproveitamento dos resíduos de construção e demolição, que de acordo com Buttler (2003), deve-se considerar as características socioeconômicas e culturais de cada região. Um dos mais importantes tipos de reaproveitamento dos RCD está o aterramento, que mesmo aplicado sem nenhum beneficiamento, é um dos mais utilizados. Em seguida, está a utilização do material nas camadas de base e sub-base de pavimentos, produção de concretos magros sem fins estruturais, utilização em projetos de drenagem, entre outros que apresenta ótima capacidade de suporte, com uma menor utilização do agregado natural. (PINTO, 2000; RIBEIRO, 2005)

Constata-se que o agregado, obtido a partir da reciclagem de resíduo, pode ser aplicado em serviços como pavimentação, argamassas de assentamento e revestimento, concretos, fabricação de pré-moldados (blocos, briquetes, meio-fio e outros), serviços de drenagem, entre outros (MEHTA & MONTEIRO, 1994; PINTO, 2000; LEVY, 1997; LATTERZA, 1998; ZORDAN, 1997).

Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de RCD (ABRECON, 2015) há várias aplicabilidades do agregado reciclado numa obra, dentre elas:

a) Utilização em pavimentação:

A forma mais simples de reciclagem do RCD é a sua utilização em pavimentação (base, sub-base ou revestimento primário) na forma de brita corrida ou ainda em misturas do agregado reciclado com solo. Algumas vantagens desse uso seria justamente o fato da reciclagem exigir uma menor utilização de tecnologia e permitir a utilização de todos os componentes minerais, sem necessidade de separação.

b) Utilização como agregado para o concreto:

O entulho processado pelas usinas de reciclagem pode ser utilizado como agregado para concreto não estrutural, a partir da substituição dos agregados convencionais (areia e brita). Apresentam praticamente as mesmas vantagens descritas acima.

c) Utilização como agregado para a confecção de argamassas:

Após ser processado por equipamentos denominados "argamasseiras", que moem o entulho, na própria obra, em granulometrias semelhantes as da areia, ele pode ser utilizado como agregado para argamassas de assentamento e revestimento.

d) Outros usos seriam:

Utilização de concreto reciclado como agregado; cascalhamento de estradas; preenchimento de vazios em construções; preenchimento de valas de instalações; reforço de aterros (taludes).

3 BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA

3.1 Histórico e definição

Os blocos de concreto surgiram após o desenvolvimento do cimento Portland, quando se começou a moldar blocos grandes e maciços de concreto, a partir daí houve um esforço para a modernização da produção de blocos, assim como sua utilização na alvenaria essas peças foram se modernizando, até chegar no modelo hoje conhecido (SALVADOR FILHO, 2007).

O surgimento dos blocos de concreto vazado se deu no fim do século XIX segundo Medeiros (1993), quando os blocos maciços se tornaram impopulares pelo peso elevado e baixa produtividade, assim houve um esforço para o desenvolvimento de máquinas para a produção de blocos vazados. A partir de 1910 o adensamento manual passou a ser feito de forma mecânica, melhorando a resistência, densidade, impermeabilidade e padronização dos blocos produzidos, na década de 1940 foram desenvolvidas máquinas com o sistema de vibro prensagem aumentando ainda mais a resistência e padronização das peças fabricadas e a capacidade de produção de até 5.000 blocos por dia.

A chegada deste material ao Brasil ocorreu por volta do final da década de 1950 com o início das importações de máquinas para fabricação de blocos de concreto. Em 1966 foi instalada em São Paulo a primeira fábrica de blocos estruturais, onde este modelo construtivo começou a popularizar na década de 1970. Atualmente as fábricas de bloco no Brasil são muito heterogêneas, em alguns locais são observadas máquinas com a mesma tecnologia empregada na década de 1940, já em outras usinas máquinas modernas automatizadas com controle de resistência, impermeabilidade, retração e dimensões da peça produzida, mas em grande parte os produtos encontrados no mercado são fabricados de forma precária e sem controle na sua produção. Conseqüentemente os blocos entrados no mercado podem ter características muito divergentes (DÉSIR, 2012).

A modernização e automatização das máquinas que produzem blocos contribuíram com a redução de custo e melhoria na qualidade final do produto. Mas o resultado final do bloco não depende apenas do maquinário utilizado, mas também do material e dosagem da produção do concreto (SALVADOR FILHO, 2007).

Blocos de concreto são materiais básicos de construção. Recentemente, o bloco de concreto de cor cinza recebeu inovação e apresentam novas variedades de tamanhos, formas, cores e texturas. Dessa forma, proporcionam construções belíssimas e ótimas aplicações funcionais como para vedação, estrutural, térmica e acústica, o que garante popularidade entre os construtores, engenheiros e principalmente arquitetos, devido à flexibilidade de criação para atender projetos de residências, hospitais, escolas, edifícios comerciais e residenciais de médio e alto padrão (GOMES, 2011).

De acordo com a norma NBR 6136 (ABNT, 2016) o bloco se define como um elemento de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta.

A alvenaria é definida como um conjunto de unidades (neste caso, os blocos) dispostas em camadas e unidas entre si por juntas de argamassa, formando um conjunto rígido (SABBATINI, 1984). Desta forma, esta definição de alvenaria, bem como a sua porcentagem, que é constituída por blocos, demonstra a importância do bloco na alvenaria, destacando-o como principal componente do conjunto e, como tal, o maior responsável pelas propriedades resistentes da alvenaria (RIBEIRO, 2005).

Os blocos de concreto para alvenaria podem ser definidos, como elementos pré-moldados de concreto obtidos a partir da mistura adequada entre agregados graúdos e miúdos, cimento, água e eventualmente, aditivos. Tal mistura, depois de compactada ou prensada em moldes específicos, ganha resistência e durabilidade suficientes para diversas aplicações, especialmente para a execução de alvenarias (MEDEIROS, 1993).

3.2 Características

O bloco de concreto é empregado em larga escala no Brasil. Foi o primeiro bloco a possuir uma norma brasileira para cálculo de alvenaria estrutural. Por outro lado como existem muitos fornecedores, sofre um problema de falta de qualidade. Possui boa resistência à compressão sendo a faixa de produção entre a mínima 4,5 MPa exigida pelas normas e 16 MPa. A resistência alta só é disponibilizada por algumas fábricas sendo o bloco mais pesado. O Brasil já tem prédio de mais de 20 pavimentos com alvenaria estrutural de blocos de concreto. Como para as outras unidades, a parede construída com blocos de concreto desempenha as funções de estrutura e de fechamento eliminando pilares e vigas e reduzindo a utilização de armaduras e de formas (DÉSIR, 2012).

Os blocos devem oferecer qualidade e economia as edificações. Isso significa que devem apresentar: dimensões e formas adequadas, compacidade, resistência, bom acabamento geométrico, boa aparência visual sobretudo quando o projeto não prevê revestimento. Além disso, deve garantir isolamento termo-acústico. Estes parâmetros são determinantes para a qualidade dos blocos e tem seus limites estabelecidos em normas técnicas apropriadas.(SALVADOR FILHO, 2007).

Algumas características constituem os requisitos normativos e servem de indicadores de qualidade ou para especificação dos blocos. As mais importantes são: resistência à compressão; absorção de água; precisão dimensional e perfeição geométrica; textura superficial (DÉSIR, 2012).

3.3 Classificação

A normalização brasileira define os tipos de blocos pelos seguintes requisitos: dimensão, blocos aparentes e requisitos físico-mecânicos - NBR 6136 (ABNT, 2016).

3.3.1 Dimensão

O bloco de concreto possui duas famílias distintas a família 39 e a família 29. A família 39 que é a mais conhecida e mais utilizada onde a peça principal, com dois furos vazados, possui 39 cm de comprimento, 19 cm de altura e larguras de 6,5; 9, 11,5; 14; ou 19 cm. Já a família 29, cujo o elemento principal, com dois furos vazados, possui comprimento de 29 cm, altura de 19 cm e largura de apenas 14 cm (FERNANDES, 2012).

3.3.2 Blocos aparentes

De acordo com a NBR 6136 (ABNT,2016) os blocos para uso em elementos de alvenaria, podem apresentar faces lisas ou com texturas. Os blocos cujas faces apresentam texturas, as tolerâncias dimensionais podem ser maiores nas dimensões relativas a esta face.

3.3.3 Requisitos físicos- mecânicos

A resistência à compressão é uma propriedade fundamental para os blocos estruturais, justamente por sua função e também porque a durabilidade, a absorção de água e a permeabilidade da parede estão intimamente ligadas a esta propriedade. Deste modo, os blocos são classificados de acordo com a resistência, a saber: blocos com ou sem função

estrutural com resistência média de 3,0 Mpa, ao passo que os blocos com função estrutural devem apresentar resistência mínima de 4,0 Mpa e máxima de 8,0 MPa, conforme classifica a NBR 6136 (ABNT, 2016). E são divididos em classes, onde as classes A (resistência de 8 Mpa) e B (resistência de 4 Mpa) são os elementos com função estrutural e a classe C (resistência de 3 MPa) os elementos com ou sem função estrutural.

Os locais onde estes blocos podem ser utilizados dependem da resistência apresentada, blocos da classe A podem ser utilizados acima ou abaixo do nível do solo, já blocos classe B e C só podem ser utilizados acima do nível do solo. Os blocos classe C com função estrutural e largura de 9 cm, podem ser utilizados em edificações de no máximo um pavimento; blocos com função estrutural classe C, com largura de 11,5 cm, em edificações de no máximo dois pavimentos e blocos com função estrutural classe C, com larguras de 14 cm e 19 cm, em edificações de até cinco pavimentos. Já os blocos com largura de 6,5 cm têm seu uso restrito para alvenaria sem função estrutural (NBR 6136, ABNT 2016).

3.4 Materiais empregados na produção dos blocos

Segundo a NRB 6136 (ABNT, 2016) os materiais empregados na produção dos blocos de concreto são resumidos em: concreto, cimento, água, agregados, aditivos e adições.

3.4.1 Concreto

Os concretos utilizados na produção dos blocos para alvenaria são concretos de consistência seca, semelhante à terra úmida (TANGO, 1994). Caracterizam-se pela presença significativa de vazios não comunicáveis na sua estrutura e pela ausência de exsudação, sendo, genericamente, denominados como concretos secos (ABREU, 2002). Onde devem ser avaliados os seguintes requisitos:

- Índice de vazios: é um parâmetro para a avaliação da compacidade de um material. Em agregados para concreto, podem ajudar a definir a qualidade de uma areia principalmente no que diz respeito à sua distribuição granulométrica: quanto menor for o índice de vazios de um agregado, melhor é o arranjo entre seus grãos, menor será a quantidade de finos necessária para o seu envolvimento e conseqüentemente menor será o consumo de cimento da argamassa e do concreto, resultando em adequada coesão e compacidade da mistura (ABREU, 2002).

- Quantidade de água: o concreto utilizado na produção de blocos é muito mais sensível às variações do conteúdo de água do que outros concretos de cimento Portland. A falta de água aumenta a probabilidade de segregação, dificultando a compactação e o acabamento superficial, enquanto que o excesso de água provoca a instabilidade da mistura durante a compactação. Entretanto, tanto a falta quanto o excesso de água, em relação à quantidade ótima, produzem diminuição da resistência mecânica do material (RIBEIRO, 2005).
- Dosagem de concreto: a dosagem dos concretos para blocos se reveste de peculiaridades, devido às técnicas utilizadas, as quais exigem cuidados especiais às misturas. Devido ao elevado consumo de cimento dos blocos, o consumo mínimo de cimento passa a ser uma preocupação dominante, tanto pelo aspecto econômico, como pelo técnico (para minimizar as variações de volume devidas à retração por secagem).

3.4.2 Cimento

Os cimentos mais utilizados na produção do concreto para utilização em blocos são os Cimentos Portland Comum (CP-I), Composto (CP-II) e Alta Resistência Inicial (CPV-ARI). Podem ser utilizados ainda outros tipos de cimento, como o Cimento Portland Pozolânico (CP-IV) e Alto-Forno (CP-III). Estes têm a função de propiciar resistência às argamassas, aumentar a aderência, colaborar em sua trabalhabilidade e retenção de água, segundo as prescrições da NBR 6136 (ABNT, 2016). Devendo atender às especificações quanto aos limites mínimos de qualidade, das seguintes normas brasileiras: NBR 5732 (ABNT, 1991), NBR 5733 (ABNT, 1991), NBR 5735 (ABNT, 1991), NBR 5736 (ABNT, 1999) ou NBR 11578 (ABNT, 2013). É importante ressaltar a necessidade de que seja observada a compatibilidade entre o tipo de cimento e os demais materiais (agregados, adições e principalmente aditivos) e entre o processo de cura utilizado, onde, dependendo das especificações, poderá alterar as propriedades dos blocos (MEDEIROS et al, 1994; SOUSA, 2001).

3.4.3 Agregados

Para a obtenção das propriedades desejadas no concreto, para produção de blocos, as características dos agregados devem ser observadas, pois interferem na aderência com a pasta de cimento, alterando a homogeneidade e a resistência do concreto obtido (MEDEIROS, 1993). Não há restrições quanto aos tipos de agregados utilizados no preparo dos blocos de

concreto, desde que atendam aos requisitos necessários quanto à granulometria, podendo ser de origem natural, já encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas conforme estabelece a NBR 7211 (ABNT, 2009).

Em síntese, os agregados miúdos e graúdos podem ser de origens naturais ou resultantes da britagem de rochas, conforme os padrões estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009), ou agregados leves, tais como a escória de alto forno, cinzas volantes, argila expandida ou outros agregados, que apresentem massa específica normal, conforme recomenda a NBR 6136 (ABNT, 2016), onde agregado miúdo seria areia grossa natural, com dimensão máxima característica igual a 6,3 mm - Zona Ótima, da NBR 7211 (ABNT, 2009) ou resultante da britagem de rochas, com as mesmas especificações. Já o agregado graúdo seria brita com graduação zero, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), dimensão máxima característica igual a 9,5 mm, com elevada percentagem de pó de pedra e, em conjunto com a composição, areia muito fina de cava com dimensão máxima característica igual a 2,36 mm - Zona Utilizável Inferior, da NBR 7211 (ABNT, 2009).

É muito importante saber a natureza dos agregados, pois o agregado pode sofrer variação em seu volume de acordo com a umidade, como também apresentar reações com a mistura do cimento.

Reddy e Gupta (2008) estudaram sobre a influência do consumo de água com as variações granulométricas dos agregados e concluíram que argamassa com areia fina requer de 25 a 30% a mais de água em seu amassamento, reduzindo a resistência, a compressão e aumentando retrações.

A escolha dos agregados está relacionada com as futuras patologias encontradas em obras, segundo Sbrigui Neto (2000). Em se tratando de um elemento estrutural, como o bloco de concreto, os agregados devem apresentar as características detectáveis no produto acabado.

3.4.3.1 Agregados reciclados

Segundo o CONAMA (2002), agregado reciclado é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção, que apresentam características técnicas para aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia.

A granulometria dos agregados reciclados varia de acordo com o tipo de resíduo processado, os equipamentos utilizados no beneficiamento e a granulometria do resíduo antes de ser processado, logo cada tipo particular de resíduo reciclado terá a sua curva granulométrica (LOVATO, 2007 apud LIMA, 1999).

Na maioria dos casos, os agregados reciclados apresentam a massa específica e a massa unitária menores que os agregados naturais. Isto pode ser explicado pelo fato que os resíduos de construção e demolição são compostos de materiais porosos (LOVATO, 2007).

Uma vez que os agregados reciclados são compostos por materiais porosos, como argamassas e alvenaria, eles apresentam taxas de absorção muito altas. Portanto, é muito importante considerar essa característica para não influenciar na durabilidade nem dificultar a produção de argamassas e concreto (LOVATO, 2007 apud LIMA, 1999).

3.4.4 Água

Segundo as especificações da NBR 6136 (ABNT, 2016), a água utilizada para fabricação dos blocos de concreto deve ser desprovida de maior turbidez e isenta de substâncias prejudiciais à hidratação do cimento (material orgânico, ácido). Cabe aqui mencionar a normalização específica para água destinada ao amassamento de concreto, qual seja: NBR 15900-1 (ABNT, 2009), onde estão especificados padrões exigíveis para água de mistura do concreto. Seguindo as especificações destas normalizações, presumem-se como satisfatórias as águas tratadas e utilizadas no abastecimento público, sendo as águas potáveis quase sempre adequadas para a produção dos blocos.

3.4.5 Aditivos

Conforme a normalização que prescreve os blocos, que trata sobre os aditivos químicos para concreto de cimento Portland de concreto para alvenaria – NBR 6136 (ABNT, 2016) e NBR 11768 (ABNT, 2011) é permitido o uso de aditivos, desde que não acarretem efeitos prejudiciais devidamente comprovados por ensaios.

Segundo Medeiros (1993) os aditivos mais utilizados na fabricação dos blocos de concreto são os redutores de água. Estes aditivos têm como função reduzir a quantidade de água de amassamento do concreto para uma dada consistência. Como resultado, tem-se uma redução do consumo de cimento do concreto onde a relação água/cimento é constante.

3.5 Dosagem

A fabricação de blocos utiliza dosagem de concreto com consistência seca para que estes, após o adensamento mediante compactação, possam ser desmoldados rapidamente, possibilitando a reutilização imediata do molde. A coesão deste concreto no estado fresco é muito importante devido a sua consistência rija, o que impede que os blocos recém moldados sofram variações dimensionais durante as operações de transporte após a fabricação, cura, etc. O concreto deve ser dosado cuidadosamente e sua consistência controlada para obter as propriedades físicas desejadas, como textura, cor, regularidade dimensional etc.

A metodologia de dosagem de concreto seco se difere do concreto plástico, e quando se dosa um concreto seco para a produção de blocos, busca-se atingir alguns critérios exigidos por norma (NBR 6136, 2016) e outros exigidos pelo mercado, como: acabamento, textura e preço. Este último para ser atingido e de forma competitiva tem que se buscar a melhor composição de agregados e cimento.

A seguir serão descritos meios de dosagens de concreto seco para a fabricação de blocos de concreto.

a) Método adotado pela Besser Company

Esse método foi desenvolvido por Pfeiffenberger (1985) apud Buttler (2003) e adotado pelo fabricante de máquinas vibro-prensas, Besser Company, daí o nome do método. Este é baseado no ajuste do traço pela granulometria final das misturas, módulo de finura.

O método estipula as características necessárias para o agregado utilizado assim como a proporção de agregados graúdos e miúdos iniciais, que está em uma faixa de 40% de pedrisco e 60% de areia média, podendo variar de acordo com a análise granulométrica, dos agregados. Quando ocorre uma deficiência granulométrica um terceiro agregado pode ser utilizado, para que seja feita as devidas correções na mistura final, que deve ficar com módulo de finura de 3,60 a 3,75.

Para os agregados graúdos o módulo de finura deve estar entre 5,00 a 5,75 e agregados miúdos 3,00 a 3,50, alcançando uma proporção final de aproximadamente 40/60 (pedrisco/areia) (FERREIRA, 2000).

Em relação à quantidade de água, o método descreve que a umidade da mistura deve ficar entorno de 6,0 a 7,5%, devendo ser ajustada quando forem feitos testes na máquina, podendo alterar esta porcentagem de acordo com o tipo de máquina usada e uso ou não de aditivos. Quanto à relação cimento/agregado, esta vai variar de acordo com a resistência desejada.

b) Método ABCP

Este método foi publicado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) em forma de boletim técnico e desenvolvido por Ferreira (2000) com título: Produção de Blocos de Concreto para Alvenaria Estrutural – Prática Recomendada.

O enfoque deste método é dado na proporção entre agregados miúdos e graúdos, objetivando a máxima compacidade possível, obtendo o menor índice de vazios na massa. Para isso, devem ser feitas composições variadas entre agregados graúdos e miúdos ainda secos, determinando as massas unitárias para cada composição.

O procedimento de dosagem das misturas é:

- Retirar a umidade dos agregados;
- Fazer composições entre os 2 agregados buscando a máxima compacidade;
- Colocar os agregados misturados em um volume conhecido de 40 x 40 cm de boca, adensar e pesar a mistura;
- Sendo necessária a adição de um terceiro agregado, deve se determinar a composição dos dois mais graúdos e depois adicionar o mais fino;
- A composição que apresentar maior massa será a ideal.

Sendo determinada a melhor proporção entre os agregados deve-se partir para testes em escala real no equipamento para produção de blocos. A relação de cimento e agregado deve ser utilizada de 1:10 a 1:15, em traços mais pobres e 1:6, para traços que exigem maior resistência. A quantidade de água deve ser suficiente para que os blocos comecem a aderir as paredes dos moldes (FERREIRA, 2000).

c) Método proposto pela Columbia

Este método foi proposto pelo fabricante de máquinas para fabricação de blocos Columbia, e foi baseado em estudos realizados por Wink Grand, em 1948 e Menzel, em 1934, *apud* Oliveira, 2004. Este método se preocupa principalmente com as características dos agregados e de que forma influenciam na produção e propriedades finais dos blocos como: resistência, textura, trabalhabilidade e porosidade (OLIVEIRA, 2004).

Esta metodologia baseia-se na faixa granulométrica recomendada dos agregados, que é apoiada em experiência em seus equipamentos para fabricação de blocos, obtendo bons resultados quanto à trabalhabilidade, resistência e textura superficial. O método recomenda ainda que os agregados utilizados não devam sofrer variações quanto a sua granulometria, para que não tenham comprometimento da qualidade final das peças.

A granulometria preconizada, é que a mistura dos agregados graúdos e miúdos obtenha um material 100% passante na peneira, com abertura de malha 9,5 mm e cerca de 20 a 30% desta mistura fique retida na peneira 4,8 mm e a quantidade mínima de finos deve ser de 12 a 15%, passante na peneira 0,3 mm da mistura total, incluindo o cimento. A quantidade de água deve ser testada no próprio equipamento, variando de 5,0 a 5,5%, podendo variar de acordo com os agregados.

3.6 Caracterização dos agregados

Alguns ensaios são necessários para conhecer os agregados utilizados na produção dos blocos e seus comportamentos, dentre esses ensaios estão análises químicas e físicas.

O fenômeno da difração de raios X (DRX) pelos cristais propicia a investigação de pequeníssimas estruturas da matéria. A natureza dos raios X e as condições em que esses difratam permitem o estudo de substâncias cristalinas (SILVA, 2013).

A difração de raios X resulta de um processo em que os raios X são dispersos pelos elétrons dos átomos componentes de um material, sem mudança de comprimento de onda, sendo obedecidas certas condições geométricas. Ao atingirem um material, os raios X podem ser espalhados sem perda de energia pelos elétrons dos átomos (dispersão coerente ou de Bragg). Após colidirem com o material, os raios X mudam a sua direção de propagação, porém, mantêm o comprimento de onda da radiação incidente (KAPLAN, 1978; JENKINS e SNYDER, 1996).

Este ensaio é realizado para verificar se existem substâncias que podem conferir periculosidade ao resíduo, como: mercúrio, arsênio, chumbo, benzeno, cromo, etc.

A imagem hiperespectral integra imagens convencionais e espectroscopia para obter informações espaciais e espectrais de um objeto. É hoje utilizada com sucesso como ferramenta analítica para avaliar a matéria-prima e a qualidade de produtos, sendo essas análises não destrutivas. Tem sido utilizada pelo tempo mais curto de análises quando comparada as análises convencionais (ULRICI et al., 2013).

A utilização dessa análise neste trabalho foi para investigar o potencial da imagem hiperespectral em combinação com análise de dados multivariada para distinguir entre o agregado convencional e o reciclado identificando os componentes químicos diferentes presentes em cada um.

As pozolanas são, por definição, substâncias constituídas de sílica e alumina que em presença de água se combinam com o hidróxido de cálcio e com os diferentes componentes do cimento formando compostos estáveis à água e com propriedades aglomerantes (MALHOTRA; MEHTA, 1996). Elas estão classificadas em naturais: rochas vulcânicas submetidas à meteorização; artificiais: argilas de qualquer tipo submetidas a altas temperaturas para desidratação, porém a temperaturas abaixo do início da fusão; e por fim subprodutos industriais: cinzas volantes, cinza de casca de arroz, sílica ativa, entre outros (MEHTA; MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997).

Partindo para as análises físicas a granulometria dos agregados reciclados varia de acordo com o tipo de resíduo processado, os equipamentos utilizados no beneficiamento e a granulometria do resíduo antes de ser processado (LOVATO, 2007 apud LIMA, 1999). A composição granulométrica de um agregado é a proporção relativa, em porcentagem, dos diferentes tamanhos de grãos que constituem a amostra, sendo de grande influência no teor de água (FURNAS, 2004).

Segundo Barra (1996), a granulometria dos agregados exerce influência sobre a trabalhabilidade dos concretos no estado fresco, além de ser importante parâmetro para a dosagem das misturas.

Massa específica do material é a massa do material por unidade de volume, incluindo os vazios internos do mesmo. A determinação da massa específica não considera os

vazios permeáveis, os vazios impermeáveis e os vazios entre os grãos do agregado (OLIVEIRA, 2002).

A Massa Unitária é definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume, ou seja, o volume ocupado por partículas e vazios entre os mesmos, sendo frequentemente usada para transformar quantidades em massa para quantidades em volume (RIBEIRO, 2005).

Segundo a NBR NM 45 (ABNT, 2006) a massa unitária de um agregado é o quociente da massa do agregado lançado no recipiente conforme estabelecido nessa norma e o volume desse recipiente.

Para a determinação da massa unitária consideram-se os vazios permeáveis, os vazios impermeáveis e os vazios entre grãos do agregado. A massa unitária foi determinada para complementação das caracterizações físicas dos agregados, visto que é empregada para a conversão de um traço de concreto dado em massa para um traço em volume e vice-versa (OLIVEIRA, 2002).

Os materiais pulverulentos são partículas presentes nos agregados com granulometria menor que 0,075 mm, ou seja, são as partículas minerais, inclusive as partículas solúveis em água que passam na peneira de 75 micrômetros (nº 200).

Deste modo, este ensaio buscou a determinação do teor de material pulverulento em agregados miúdos, uma vez que, segundo Furnas (2004), o excesso de finos leva a um aumento da água de amassamento e, conseqüentemente, maior retração por secagem.

Define-se a absorção de água como sendo a relação entre a massa de água necessária para preencher os poros permeáveis do agregado e a massa seca do material, sendo utilizada como parâmetro para controle de água do concreto.

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

Realizou-se este ensaio objetivando-se determinar a perda de massa dos agregados graúdos, convencional e reciclado, após abrasão, em relação às suas respectivas massas

iniciais. O desgaste de perda por abrasão dos agregados oferece um indicativo da qualidade do material a ser utilizado na produção do concreto.

3.7 Produção de blocos de concreto

3.7.1 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para produção dos blocos de concreto são denominados vibro-prensas. Estes equipamentos recebem esta denominação devido ao mecanismo de funcionamento empregado durante o processo de moldagem dos blocos: vibração associada à prensagem. A primeira função é responsável pelo preenchimento e adensamento da mistura nos moldes, e a segunda, influencia o adensamento e o controle da altura dos blocos. Conforme pode-se observar o exemplo na Figura 2 (SOUSA, 2001).

Figura 2 – Vibro - Prensa



Fonte: Própria autora, 2017

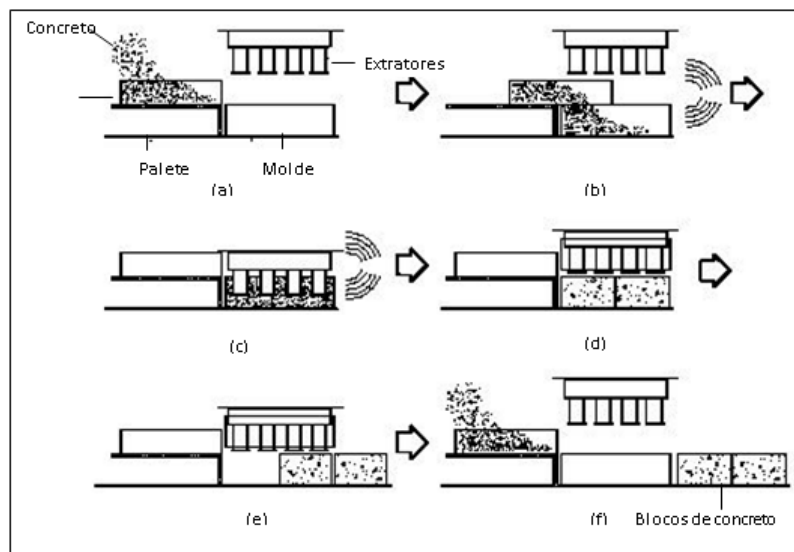
3.7.2 Mistura e moldagem

A mistura dos materiais básicos para a produção de blocos de concreto é de grande importância para a uniformidade da produção. A sequência de adição dos materiais e o tempo adequado de mistura devem ser definidos em função do tipo de equipamento utilizado no processo, não sendo considerados válidos os procedimentos gerais recomendados. Depois de proporcionada, a mistura é levada aos misturadores que podem ser de eixo vertical ou horizontal (FRASSON, 2000).

A seqüência básica de funcionamento das vibro-prensas durante a moldagem dos blocos resume-se nas etapas apresentadas a seguir na Figura 3 (MEDEIROS, 1993; HOLANDA JR, 2000).:

- a) preenchimento da gaveta alimentadora com a mistura destinada à moldagem dos blocos;
- b) deslocamento da mistura e preenchimento do molde metálico onde os blocos são moldados. Esta fase é acompanhada por vibração do molde;
- c) retorno da gaveta para a sua posição inicial e descida dos extratores para compactação e extrusão dos blocos dentro do molde. Esta fase também é acompanhada de nova vibração do molde finalizando quando a altura desejada para os blocos é atingida;
- d) extrusão ou desforma dos blocos logo após o término da operação anterior. Nesta fase os extratores permanecem imóveis, enquanto o molde ascende, permitindo que os blocos permaneçam sobre o palete onde foram moldados;
- e) o palete com os blocos recém-moldados avançam para frente da máquina, enquanto um novo palete vazio ocupa seu lugar sob o molde;
- f) o molde metálico desce então para sua posição original, enquanto os extratores ascendem, preparando-se para um novo ciclo.

Figura 3 – Sequência básica de funcionamento de uma vibro-prensa automática



Fonte: SOUZA *et al.*, 1990 *apud* MEDEIROS, 1993

3.7.3 Cura

Comparada à cura de outros artefatos de cimento, a cura de blocos é especialmente delicada devido às condições extremas em que estes componentes são dosados. Empregam-se na fabricação dos blocos quantidades mínimas de cimento e água. Portanto, se a umidade não se faz presente no ambiente onde os blocos são curados, o processo de hidratação do cimento é interrompido e praticamente todas as propriedades dos componentes ficam comprometidas, principalmente a resistência à compressão (HOLANDA JR, 2000).

Basicamente existem quatro tipos de cura, que geralmente são utilizadas na produção dos blocos de concreto:

- a) Cura por autoclaves: utiliza temperatura entre 150°C e 205°C e pressão de aproximadamente 1,0 MPa. Este método é pouco utilizado, devido aos altos custos de implantação e consumo que representa (MEDEIROS, 1993);
- b) Cura natural ou ao ar livre: neste tipo de cura, recomenda-se que os blocos permaneçam úmidos e protegidos do vento e da insolação direta, com a manutenção da umidade do estoque de blocos constante por meio de aspersão de água pelo menos durante os três a sete primeiros dias, para evitar a evaporação excessiva de água (MEDEIROS, 1993; TANGO, 1994);
- c) Cura em câmara a vapor: É o sistema de cura mais empregado na indústria de blocos de concreto. Este sistema é normalmente empregado pelos produtores de blocos que exigem de seus componentes melhor desempenho a curtas idades. Efetivamente, a aplicação do vapor produzido por gerador ou caldeira dura cerca de duas horas, dentro de um ciclo total variável, podendo chegar de 16 horas a 24 horas (MEDEIROS *et al.*, 1994). Para realização deste tipo de cura, o bloco deve ser precedido de um período de descanso de duas horas após a moldagem, para evitar fissurações (FRASSON, 2000). Sabbatini (2002) considera este tipo de cura como sendo o ideal para as empresas que solicitam financiamento de edifícios em alvenaria estrutural;
- d) Cura com aspersão de água e câmara úmida: É o sistema de cura considerado ideal pelo Sinaprocim (1999), para qualificação ou certificação dos produtores de blocos de concreto, segundo o Programa de Qualificação e Certificação de blocos de concreto (QUALIHAB). A cura por meio de aspersão de água deve ser realizada a cada 2 horas,

durante 24 horas, ao passo que a cura através de câmara úmida deve ser realizada durante 5 dias após a produção dos blocos. Comparado aos demais processos de cura, a cura através de aspersão de água apresenta-se como um método simples, não exigindo grandes investimentos, pois requer apenas uma fonte de água. Este processo de cura foi utilizado nesta pesquisa, devido aos resultados satisfatórios obtidos em pesquisas na área de reaproveitamento de resíduos em blocos de concreto (SOUSA, 2001).

4 PARTE EXPERIMENTAL

O programa experimental foi elaborado para verificar o comportamento dos blocos de concreto para alvenaria contendo substituições dos agregados convencionais por agregados reciclados de RCD.

4.1 Agregados reciclados de RCD

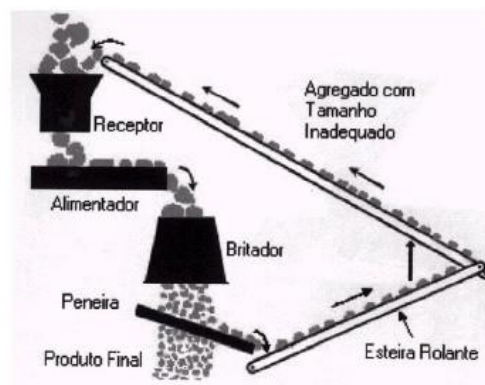
4.1.1 Procedência do agregado reciclado de RCD

A amostra do agregado reciclado de RCD, objeto de estudo desta pesquisa, foi coletada de maneira aleatória de acordo com a britagem necessária para produção dos blocos na empresa RNV Gestão e Soluções em Resíduos, com usina localizada na cidade de Aparecida de Goiânia/GO. Esta empresa trabalha no recebimento e reciclagem de resíduos, na consultoria em montagem de unidades de reciclagem de resíduos, na gestão sustentável dos resíduos da construção civil e na reciclagem de resíduos *in loco*, todos Classe A.

4.1.2 Preparo da amostra do agregado reciclado de RCD

O procedimento usual da empresa RNV Gestão e Soluções em Resíduos para o preparo da amostra se baseia no recebimento do material a ser britado. Esse material é procedente de empresas de *disk* caçamba e empresas de blocos localizadas próximas à usina. Após o recebimento desse material inicia-se o processo de britagem (Figura 4).

Figura 4 – Esquemática do circuito de britagem do resíduo de RCD



Fonte: BALLISTA, 2003

O material recebido é colocado no receptor da usina de britagem, encaminhado ao alimentador e posteriormente ao britador, onde será britada de acordo com a granulometria

desejada, passando por último pela peneira que está de acordo com a granulometria escolhida, o que fica retido na peneira volta para o receptor para nova britagem.

Na Figura 5 (a e b), pode ser visualizada a central de britagem da empresa RNV utilizada para preparação da amostra de RCD. Onde pode ser observada a caixa coletora dos resíduos que foram britados e peneirados dentro da central.

Figura 5 – Aspecto geral da central de britagem da empresa RNV: (a) Vista geral da central de britagem; (b) Detalhe dos equipamentos da central de britagem.



Fonte: Própria autora, 2017

Terminada a britagem, todo material foi levado pela esteira e acondicionado separadamente de acordo com a granulometria que são: brita, pedrisco e areia (Figura 6).

Figura 6 – Material acondicionado separadamente no pátio da empresa RNV.



Fonte: Própria autora, 2017

4.2 Caracterização dos agregados convencionais e reciclados de RCD

A caracterização dos agregados convencionais e reciclados de RCD foi realizada por meio das análises químicas (difração de Raios X, imagem hiperespectral e ensaio de pozolanidade); físicas (composição granulométrica, massa específica, massa unitária, teor de material pulverulento, absorção de água e desgaste por abrasão) e morfológicas (tipo do material).

Apresentam-se, nos itens 4.2.1 e 4.2.2, as metodologias empregadas para as análises químicas e físicas dos materiais:

4.2.1 Análises químicas

4.2.1.1 Difração de Raios X

As medidas de difração de raios-X (DRX) foram realizadas em um difratômetro Bruker D8 Discover. Utilizou-se radiação monocromática de um tubo com anodo de cobre acoplado a um monocromador Johansson para $K\alpha_1$ operando em 40KV e 40mA, configuração Bragg-Brentano θ - 2θ , detector unidimensional Lynxeye®, intervalo de 2θ de 5° a 100° , com passo de $0,01^\circ$. As amostras foram mantidas em rotação de 15 rpm durante a medida.

As análises por difração de raios X (DRX) foram realizadas no Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (Crti), localizado em Goiânia/GO.

4.2.1.2 Imagem hiperespectral

As imagens foram adquiridas usando um sistema de imagem hiperespectral de onda curta (SWIR) sisuChema, através de uma lente de ampliação de 50 mm de altura, resolução espacial de $0,30 \mu\text{m}$ para capturar imagens a uma taxa de fotogramas de 100 Hz e Imagens com 256×320 pixels e uma profundidade de pixel de 14 bits / pixel.

As análises por Imagem hiperespectral foram realizadas na Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC- Goiás, localizada em Goiânia/GO.

4.2.1.3 Pozolanicidade

A avaliação da atividade pozolânica do resíduo de RCD foi realizada com o cimento Portland, de acordo com o método prescrito pela normalização Materiais Pozolânicos – Determinação a atividade pozolânica com o cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento – NBR 5752 (ABNT, 2014). Os índices de atividade pozolânica (IAP) foram determinados com os resíduos no estado natural e após calcinação na temperatura de 600 °C durante 2 h;

O ensaio foi realizado na empresa Soloteo, localizada em Anápolis/GO.

4.2.2 Análises Físicas

As análises físicas dos materiais foram realizadas no laboratório da empresa Soloteo, localizada em Anápolis/GO.

4.2.2.1 Composição Granulométrica

No laboratório, as duas amostras foram colocadas em estufa para posterior quarteamento, que garantiu uma amostra representativa. Com a massa mínima, por amostra de ensaio foi estimada a dimensão máxima característica. Após o ensaio, foi verificado se houve compatibilidade através dos resultados entre a dimensão máxima característica real com as massas utilizadas nas amostras.

Encaixaram-se as peneiras observando-se a ordem crescente (base para topo) da abertura das malhas. Colocou-se a amostra na peneira superior e executou-se o peneiramento, no caso deste ensaio peneiramento mecânico. Pesou-se o material que ficou retido em cada peneira. Procedeu-se novamente o peneiramento até que, após 1 minuto de agitação contínua, a massa de material passante pela peneira foi inferior a 1% do material retido. Conferiu-se a massa total do material retido nas peneiras e no fundo com a massa seca inicial da amostra. Observando que a diferença não podia ultrapassar 0,3% da massa inicial. A diferença pode ter sido causada ou por perda de material ou por questão de sensibilidade da balança utilizada no ensaio.

4.2.2.2 Massa Específica

Colocou-se água no frasco até marca de 200 cm³ deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas escorresse totalmente, em seguida introduziu-se cuidadosamente 500g de agregado miúdo seco no frasco, o qual foi devidamente agitado para eliminação das bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco indica o volume ocupado pelo conjunto água-agregado.

Este ensaio foi realizado para a obtenção do consumo dos materiais utilizados na produção das misturas. Para os agregados graúdos, convencional e reciclado, determinou-se também a massa específica do agregado na condição saturado com superfície seca (SSS), segundo as prescrições da NBR NM 53 (ABNT, 2009).

4.2.2.3 Massa Unitária

A amostra foi lançada, através de concha, a uma altura de 10 cm do topo do recipiente até preenchê-lo completamente, o agregado miúdo teve sua superfície regularizada com régua, já o agregado graúdo as saliências foram compensadas pelas cavidades. Pesou-se todo o material, sendo o valor da massa do agregado a diferença entre a massa total (agregado + recipiente) e a tara do recipiente, previamente determinado pela Norma.

A massa unitária dos agregados miúdos e graúdos, convencional e reciclada, foi determinada com o agregado no estado solto de acordo com as prescrições da NBR NM 45 (ABNT, 2006).

4.2.2.4 Teor de Material Pulverulento

Colocou-se a amostra de 500g do material no recipiente e recobriu com água. Agitou-se o material, com o auxílio de uma haste, de forma a provocar a separação e suspensão das partículas finas, tomando o cuidado para não provocar abrasão no material. Despejou-se a água cuidadosamente através das peneiras para não perder material.

Lançou-se o material retido nas peneiras de volta ao recipiente e repetiu-se a operação de lavagem até que a água de lavagem se tornasse límpida. Foi feita a comparação visual da limpidez entre a água, antes e depois da lavagem, utilizando os recipientes de vidro. Ao terminar a lavagem, colocou-se o material no recipiente, recobriu com água e foi deixado em repouso o tempo necessário para decantar as partículas. Retirou-se a água em excesso com

auxílio de bisnaga para facilitar a secagem em estufa, tomando o cuidado para não provocar perda de material. Secou-se o agregado lavado em estufa a $(105 - 110) ^\circ\text{C}$ até constância de massa e determinou sua massa final seca.

As prescrições da norma NBR NM 46 (ABNT, 2001) foram utilizadas para determinação do teor de material pulverulento nos agregados miúdos, convencional e reciclado.

4.2.2.5 Absorção de Água

As prescrições da norma NBR NM 30 (ABNT, 2001) foram utilizadas para determinação das taxas de absorção dos agregados miúdos e a NBR NM 53 (ABNT, 2009) para determinação das taxas de absorção dos agregados graúdos.

Para cálculo das taxas de absorção dos agregados miúdos, a amostra do agregado para ensaio foi de aproximadamente 1 kg, tendo sido obtida por quarteamento prévio. Colocou-se a amostra em um recipiente para secar a uma temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, até que a diferença de massa fosse menor do que 0,1 g, em duas determinações consecutivas. Cobriu-se a amostra com água que descansou por 24 h. Retirou-se a amostra da água e se estendeu sobre uma superfície plana, submetendo-a à ação de uma suave corrente de ar quente, revolvendo a amostra com frequência para assegurar uma secagem uniforme. Prosseguiu a secagem até que os grãos de agregado miúdo não ficassem aderidos entre si de forma marcante. Colocou-se o agregado miúdo em um molde, sem comprimi-lo, aplicou-se suavemente em sua superfície 25 golpes com a haste de compactação e levantou-se verticalmente o molde. Continuou a secagem, revolvendo a amostra constantemente e realizaram-se ensaios a intervalos frequentes, até que o cone de agregado miúdo desmoronou ao ser retirado o molde. Neste momento o agregado chegou à condição de saturado superfície seca, podendo ser determinada a sua massa.

Para determinação das taxas de absorção dos agregados graúdos, pesou-se a amostra, a seguir, submergiu o agregado em água à temperatura ambiente por um período de (24 ± 4) h, retirou-se a amostra da água e envolveu em um pano absorvente até que toda a água visível fosse eliminada. Os fragmentos grandes foram limpos individualmente. Colocou-se a amostra no recipiente, submergiu-a em água mantida a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e pesou em água. Secou-se a amostra a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ até massa constante deixou esfriar até a temperatura ambiente durante 2 h, pesou-se com precisão de 1 g.

4.2.2.6 Desgaste por abrasão

Determinou-se a massa da amostra com precisão de 1g, secou-se em estufa que depois foi colocada dentro do tambor mais as esferas de aço (carga abrasiva). Ligou-se a máquina com a amostra mais a carga abrasiva, o tambor gira a uma velocidade entre 30 a 33 r.p.m., até completar 1000 rotações para as graduações. Retirou-se o material do tambor que foi peneirado na peneira de abertura de malha 1,7 m, lavou-se a amostra retida na peneira de malha 1,7 mm que foi seca em estufa a $(107,5 + 2,5)^\circ\text{C}$. Após o período na estufa, pesou-se a amostra com precisão de 1g.

Determinou-se a perda de massa por abrasão para os agregados graúdos, convencional e reciclado, conforme prescrições da NBR NM 51 (ABNT, 2001).

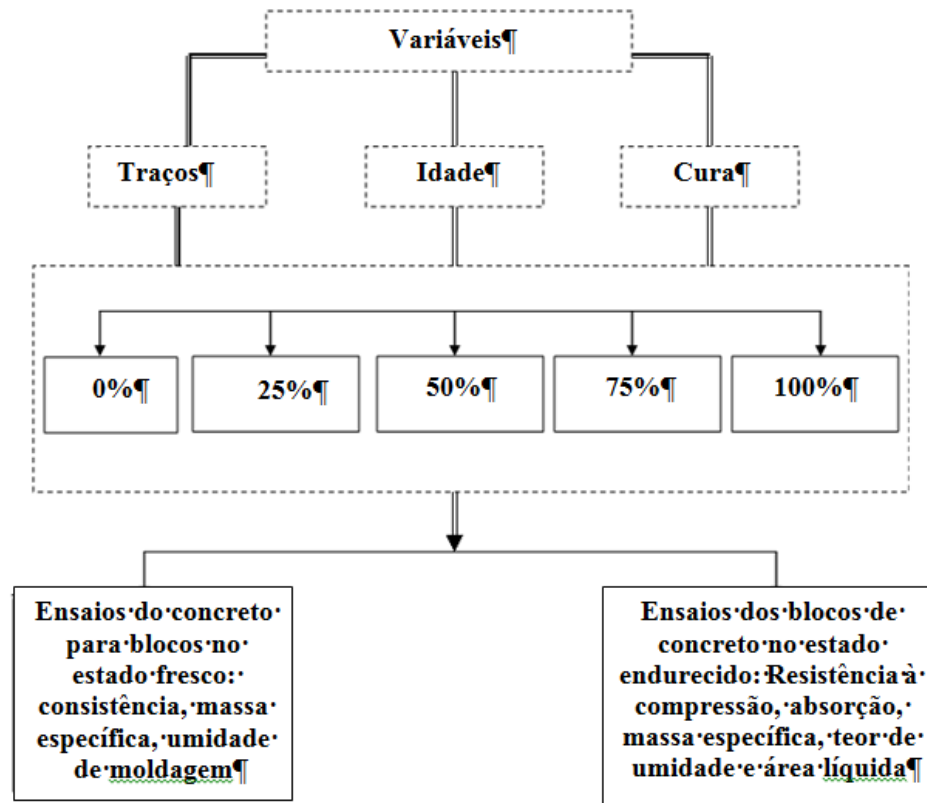
4.3 Planejamento dos ensaios para avaliação dos blocos

Os parâmetros utilizados para a avaliação dos blocos foram obtidos por meio de ensaios no concreto, para blocos frescos, e nos blocos de concreto endurecidos.

Nos concretos frescos foram avaliados os efeitos das substituições dos agregados na trabalhabilidade. Nos concretos endurecidos, a influência das substituições de agregados de concretos reciclados, nas propriedades mecânicas dos concretos avaliada por meio dos ensaios de resistência à compressão simples e a influência na durabilidade dos concretos, através dos ensaios de absorção de água, massa específica, umidade e área líquida. Estes ensaios foram realizados nos laboratórios do Instituto Carlos Campos, localizado em Goiânia/GO.

As análises dos resultados dos experimentos foram realizadas com tratamento estatístico (GEYER, 2001). Os parâmetros utilizados para a avaliação dos concretos foram obtidos através de ensaios no concreto fresco e no concreto endurecido. Uma análise esquemática do programa experimental pode ser feita a partir da Figura 7.

Figura 7 – Esquema para o desenvolvimento do programa experimental



Fonte: Própria autora, 2017

4.3.1 Variáveis independentes

São as variáveis, que uma vez definidas, são mantidas fixas até o final do experimento, ou seja, as variáveis que são funções dos materiais a serem utilizados, das resistências de blocos de concreto a serem moldadas e da idade dos corpos de prova a serem ensaiados, assim como das demais condições prévias estabelecidas para realização de cada ensaio.

Traços: Nesta pesquisa, buscou-se trabalhar com três variados tipos de resistências de referência para blocos (3,0; 4,0 e 8,0 MPa) correspondentes aos traços dos blocos não estruturais (traço 1) e blocos estruturais (traços 2, 3), totalizando três traços de referência para o estudo. Estes traços foram adotados levando-se em conta que, no presente trabalho, busca-se avaliar o desempenho dos blocos de concreto produzidos com diferentes teores de substituição de agregados reciclados, em diferentes classes de resistência de blocos.

Substituição dos agregados convencionais pelos reciclados: foram utilizados percentuais de substituição de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, tanto de agregado miúdo reciclado (%AMR), quanto de agregado graúdo reciclado (%AGR), em combinações simultâneas.

Idade: As idades para a realização dos ensaios foram estabelecidas pela NBR 6136 (ABNT,2016), procurando-se adotar idades comumente utilizadas em análise de comportamento dos blocos de concreto. Para cada ensaio realizado ocorreram variantes nas idades, sendo estabelecidas as seguintes: resistência à compressão simples, 7 e 28 dias; massa específica, absorção, umidade e área líquida aos 28 dias.

Cura: Nesta pesquisa, optou-se por um processo de cura em câmara úmida na avaliação experimental em concretos. A idade de 7 dias foi definida por ser uma idade característica na produção de blocos (MEDEIROS, 1993). Posteriormente foram deixados no ambiente do laboratório até a data do ensaio.

Trabalhabilidade: Inicialmente a trabalhabilidade do concreto foi determinada empiricamente para ajuste do traço por meio do “ponto de pelota, por ser uma especificação frequentemente utilizada nas grandes plantas industriais de blocos de concreto (TANGO, 1994). Após esta determinação, foi verificada a trabalhabilidade por meio do tempo de vibração (Cannon Time). As propriedades físicas que influenciam na trabalhabilidade são o ângulo de atrito, a coesão, a viscosidade – relacionadas a maior ou menor mobilidade da massa; a massa volúmica – que interfere na compactação; a segregação e a exsudação – que interferem na estabilidade da mistura que constitui o concreto fresco (COUTINHO, 1997).

4.3.2 Variáveis dependentes

Consistência: Nos traços de concreto para blocos, os concretos foram dosados para uma consistência de “terra úmida”. Esta especificação de consistência foi adotada por ser frequentemente utilizada na fabricação de blocos.

Resistência à compressão simples: Para a determinação da resistência à compressão dos blocos de concreto foram utilizados os procedimentos preconizados pela norma brasileira NBR 6136 (ABNT, 2016) - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da resistência à compressão. Antes do ensaio, os corpos-de-prova foram capeados com argamassa, para que haja uma regularização das superfícies de aplicação

de carga e um nivelamento das superfícies para que encaixe perfeitamente na máquina que iria fazer o ensaio. Para cada idade foram ensaiados 6 exemplares por traço de concreto. O bloco foi então encaminhado para a última fase, chamada de rompimento. A máquina exerce uma força gradual de compressão sobre o bloco até que o mesmo rompa, a força exercida foi dividida pela área de topo do bloco em cm^2 , onde temos então a relação de kgf (exercido pela máquina) por cm^2 , que, para se chegar ao MPa , foi dividido este valor por 10.

Absorção de água: para este ensaio foi utilizado os procedimentos sugeridos pela norma NBR 12118 (ABNT,2014). Inicialmente os blocos foram levados a estufa à uma temperatura ambiente e por um tempo de 24 h, depois colocou-se na estufa à uma temperatura de 105°C , por 24 h, em seguida tirou-se da estufa e anotou-se o valor encontrado, colocou-se na estufa novamente por 2 h, considerando-se a leitura após completar 24 h, em que a diferença de massa não registrasse um valor superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, e anotou-se então a massa seca **m1**. Através do método de saturação, os blocos foram resfriados a temperatura ambiente e imergidos em água à temperatura de $(23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C})$, por 24 h e pesou-se as peças, em que foi anotado o valor encontrado **m2**. Após o referido ensaio, foi feita a relação entre a massa de água contida no bloco saturado e a massa do bloco seco em estufa até constância de massa, registrou-se o resultado em porcentagem.

Massa específica, Umidade e Área líquida: Estes ensaios foram utilizados, não para verificar diretamente a qualidade dos concretos, mas sim para verificar se existiam diferenças entre concretos com diferentes teores de substituições, e com isto analisou-se, indiretamente, a durabilidade do material. Em complemento aos objetivos desta pesquisa, para a determinação de um parâmetro que possa satisfazer sobre informações em relação à absorção, foi adotado o ensaio descrito na NBR 12118 (ABNT, 2014) - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. Para cada traço foram ensaiados 3 exemplares para estas propriedades.

4.4 Produção dos corpos de prova

4.4.1 Planejamento da amostra

Para o desenvolvimento da parte experimental desta pesquisa foram adotados para ensaios com os blocos de concreto no estado endurecido, Corpos de Prova (CP's) vazados de concreto (contendo dois furos), nas dimensões padronizadas 14 cm x 19 cm x 39 cm,

designados como M-15, conforme especifica a NBR 6136 (ABNT, 2016) das normas brasileiras.

A quantidade de corpos-de-prova foi definido de acordo com as especificações das normas referentes a cada ensaio, de modo que o modelo apresentasse variáveis suficientes para análise estatística. Foram utilizados para o ensaio de resistência à compressão 6 CP's por idade, enquanto que para os ensaios de absorção de água, teor de umidade e área líquida foram utilizados 3 CP's para a idade adotada. A amostra atingiu o total de 225 CP's, considerando as 15 situações individuais (3 traços x 5 teores de substituição).

Com o objetivo de identificar as alternativas mais adequadas para o aproveitamento dos RCD, tanto do ponto de vista técnico como da possibilidade de agregar maior valor, foi realizada a caracterização e escolha da granulometria ideal do Agregado Reciclado e avaliado seu potencial de reaproveitamento (alternativas para valorização).

Na Quadro 1 estão apresentadas as especificações das dosagens, considerando os teores de substituições utilizados juntamente com a quantidade de blocos de concreto ensaiados, de acordo com o tamanho da amostra proposto.

Quadro 1 – Especificações das dosagens e quantidade de blocos de concreto ensaiados

Traço	Nomenclatura	Substituição em massa	%AMC	%AMR	%AGC	%AGR	Quantidade de CP's por ensaio		
							Resistência à compressão		Absorção de água,
									Teor de umidade
							7 dias	28 dias	28 dias
T 1	0 (Referência)	---	100	0	100	0	6	6	3
	25	Parcial	75	25	75	25	6	6	3
	50	Parcial	50	50	50	50	6	6	3
	75	Parcial	25	75	25	75	6	6	3
	100	Total	0	100	0	100	6	6	3
T 2	0 (Referência)	---	100	0	100	0	6	6	3
	25	Parcial	75	25	75	25	6	6	3
	50	Parcial	50	50	50	50	6	6	3
	75	Parcial	25	75	25	75	6	6	3
	100	Total	0	100	0	100	6	6	3
T 3	0 (Referência)	---	100	0	100	0	6	6	3
	25	Parcial	75	25	75	25	6	6	3

	50	Parcial	50	50	50	50	6	6	3
	75	Parcial	25	75	25	75	6	6	3
	100	Total	0	100	0	100	6	6	3
Total de CP's por ensaio							90	90	45
Total de CP's do programa experimental							225		

AMC: Agregado Miúdo Convencional
Convencional

AGC: Agregado Graúdo

AMR: Agregado Miúdo Reciclado

AGR: Agregado Graúdo Reciclado

CP's: Corpos de prova

Fonte: Própria autora, 2017

4.4.2 Produção dos blocos de concreto

Os blocos de concreto foram produzidos em uma vibro-prensa semi-automática, pertencente a uma empresa na cidade de Anápolis/GO.

A mistura dos concretos de referência seguiu a ordem normalmente utilizada para produção de concretos convencionais (agregado graúdo - água - cimento - agregado miúdo - aditivos).

Os blocos de concreto, após a moldagem, foram mantidos em câmara úmida durante sete dias, sendo posteriormente armazenados em local seco e arejado até a idade de realização dos respectivos ensaios.

Com relação aos corpos-de-prova, a NBR 12118 (ABNT, 2014) preconiza que os mesmos devem ser ensaiados secos ao ambiente do laboratório e para a regularização das faces de trabalho devem ser utilizadas pastas ou argamassas capazes de apresentar no momento do ensaio, resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos de diâmetro de 50 mm e altura de 100 mm, superior à prevista para o bloco a ensaiar.

Nas datas previstas para os ensaios de resistência à compressão, absorção, umidade e área líquida, os blocos de concreto foram capeados, 2 dias antes do rompimento (um dia para capear cada lado).

Para caracterizar os blocos de concreto no estado fresco, foram realizados os ensaios de avaliação da trabalhabilidade e de determinação da massa específica. Para caracterizar os blocos de concreto no estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à compressão, absorção, massa específica, umidade e área líquida.

4.4.2.1 Cimento

O cimento utilizado neste experimento foi o CP IV de alta resistência inicial de 40 MPas, da marca Nacional. Este tipo de cimento é amplamente usado na fabricação de pré-moldados de concreto que exigem resistências elevadas em baixas idades. O cimento foi ensaiado pelo fabricante.

4.4.2.2 Agregados

Para realização deste estudo, utilizaram-se agregados miúdos e graúdos convencionais, compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos; materiais que seguem as exigências da NBR 7211 (ABNT, 2009). Estes agregados foram fornecidos em lotes de uma pedreira idônea da cidade de Anápolis/GO britados de rocha do tipo gnaisse e classificados de acordo com sua granulometria, utilizando a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Já todo o material agregado reciclado deste trabalho foi obtido na empresa RNV Gestão e Soluções em Resíduos localizada em Aparecida de Goiânia /GO. Na confecção dos corpos-de-prova, a fração reciclada semelhante à areia grossa (ACR) foi utilizada como agregado miúdo e a fração reciclada semelhante à brita 1 (BCR) como agregado graúdo.

O agregado graúdo usado foi o comercialmente chamado de “pedrisco” ou “brita zero”, aonde se espera a passagem deste material na abertura de peneira malha 9,5 mm e retenção na malha 4,75 mm e o agregado miúdo usado foi areia.

4.4.2.3 Elaboração do Traço

Para a elaboração do traço de concreto, a ser usado neste programa experimental, foi usado o método de dosagem proposto pela Besser Company. Como descrito anteriormente, este método é baseado no ajuste do traço pela granulometria final da mistura, e estipula um proporcionamento inicial numa faixa de 40%, para pedrisco e 60%, para areia, podendo variar de acordo com a análise granulométrica. E a mistura final deve ficar com módulo de finura em torno de 3,60 a 3,75.

4.4.2.4 Misturador Planetário

Com a finalidade de obter um concreto homogêneo e com abatimento de tronco de cone zero, utilizou-se um misturador do tipo planetário, com capacidade de produção de 400 litros de concreto por ciclo. Equipamento este da marca Menegotti modelo MP – 7,5 com potência instalada de 10 cv.

4.4.2.5 Prensa Hidráulica MBP-4

Para a fabricação dos blocos de concreto, foi usada uma prensa hidráulica da marca Menegotti modelo MBP – 4. Modelo automatizado com processos simultâneo de vibração e compressão, controlados através de CLP (controlador lógico programável). O tempo de alimentação, vibração e prensagem foram os mesmos para a produção dos quatro lotes com consumo diferente de cimento

4.4.2.6 Procedimentos

Primeira Etapa: Recebimento do Material

Os materiais deste experimento seguiram critérios no seu recebimento e armazenamento, conforme NBRs citadas ou manuais de boas práticas:

- a) Cimento: foi recebido em embalagem dupla de papel craft, com peso de 40 Kg sobre paletes. A embalagem estava íntegra e não apresentou sinais de hidratação nem a presença de pedras ou grumos, também foram transportadas em caminhões com cobertura de lonas ou similar. O cimento utilizado durante todo o experimento foi do mesmo lote e estava dentro da validade. Quanto ao armazenamento, estes foram guardados em um depósito fechado e coberto, em paletes, seguindo as normas da NBR 5733 (ABNT, 1991);
- b) Aditivo: o aditivo foi recebido em embalagem de 200 litros e não apresentou avarias ou vazamentos e o recipiente estava lacrado. Em sua embalagem constou a identificação do lote, especificação do aditivo e data de validade conforme NBR 11768 (ABNT, 2011). Neste experimento o aditivo empregado foi o plastificante RHEOMIX 610 da marca Basf, aditivo este na forma líquida de cor laranja claro e densidade de $103 \pm 0,02 \text{ g/m}^3$ e com base química saponácea. Esse produto é indicado

para a fabricação de blocos de concreto, reduzindo água e melhorando a resistência e textura dos blocos;

- c) Água: esta foi fornecida pela estação de tratamento da cidade, seguindo as seguintes características: incolor, inodora e insípida. Esta ficou armazenada em tambor de plástico apresentando-se limpo e com tampa;
- d) Agregados: utilizou-se neste experimento agregados miúdos e graúdos convencionais e reciclados. O recebimento destes agregados foi feito por lote e o seu armazenamento em baias separadas por alvenaria, cobertas e com inclinação do solo para o escoamento do excesso de umidade.

Segunda Etapa: Fabricação e cura dos blocos

Na preparação dos concretos, para produção dos blocos, foram empregados os materiais descritos anteriormente, sendo estes preparados sob condições de superfície saturada seca (SSS).

A seqüência de introdução dos materiais na maquina e o tempo de amassamento do concreto seguiram os procedimentos recomendados pela norma. Que são as seguintes:

- Para preparar o concreto, os materiais chegam por esteiras até o misturador, apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Detalhe do acondicionamento dos materiais levados na esteira



Fonte – Própria autora, 2017

- Com o misturador em movimento foram introduzidos o restante da água e aditivos realizando os ajustes necessários para conferir a todos os traços um ponto de pelota. O tempo de mistura do concreto foi de 4 minutos para todos os lotes, tempo este

recomendado pelo fabricante do misturador. As etapas do processo estão ilustradas na Figura 9.

Figura 9 – Detalhe da adição de água e aditivo



Fonte – Própria autora, 2017

- Depois de adicionada a água e aditivo verificou-se empiricamente uma umidade adequada para a produção dos blocos através da moldagem de uma pelota de concreto na palma das mãos, que pode ser observado na Figura 10. Este método denominado “ponto de pelota” é adequado para verificação da consistência ótima para a moldagem dos blocos de concreto: se a pelota se esboroar, significa falta de água e caso a pelota sujar as mãos, significa excesso de água (TANGO,1994).

Figura 10 – Determinação empírica da consistência ideal do concreto através do "ponto de pelota".



Fonte – Própria autora, 2017

- A partir desta etapa, procedeu-se à etapa de produção dos blocos de concreto, observados na Figura 11.

Figura 11 – Processo da produção dos blocos



Fonte – Própria autora, 2017

Os blocos selecionados foram identificados por lotes e colocados em gaiolas para a cura úmida e no sétimo dia levados ao laboratório para serem ensaiados.

Terceira Etapa: Ensaios

Após o período pré determinado da cura dos blocos, os mesmos foram enviados ao laboratório, e ensaiados para determinar a resistência à compressão, trabalhabilidade, absorção, massa específica, umidade e área líquida.

Quarta Etapa: Análise estatística

Depois de obtidos os resultados dos ensaios, estes foram submetidos a análises estatísticas. Sendo que os resultados dos ensaios de absorção, umidade e resistência à compressão foram analisados no software SISVAR pelo método ANAVA.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização dos agregados convencionais e reciclados de RCD

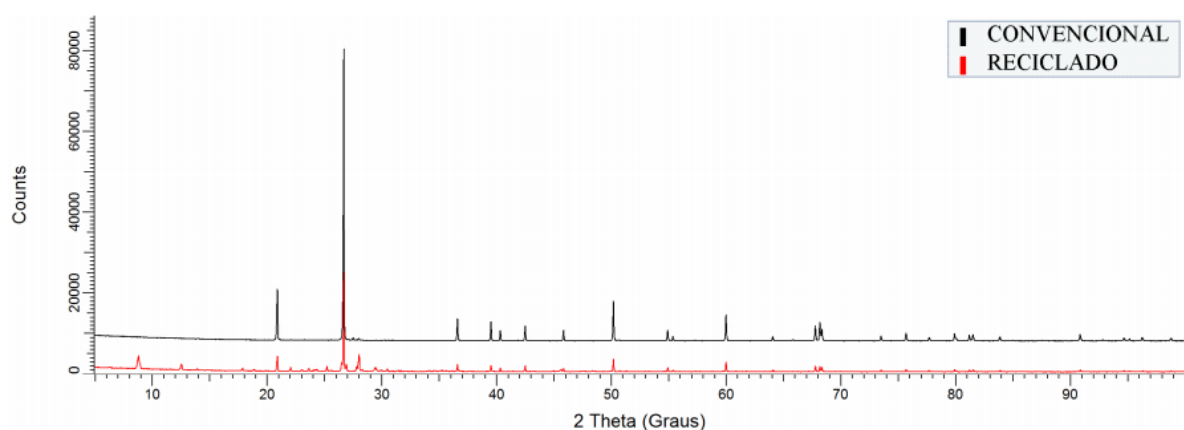
Apresentam-se, neste subitem, os resultados das análises químicas e físicas dos agregados reciclados de RCD, a fim de comparar com os resultados obtidos para os agregados convencionais de normalizações (NBR NM 248, 2008; NBR NM 53, 2009; NBR NM 45, 2006; NBR NM 46, 2001; NBR NM 30, 2001; NBR NM 51, 2001) e pesquisas já efetuadas (TANGO, 1994; MEDEIROS, 1993; SOUSA, 2001, LEITE, 2001; ANDOLFATO, 2002; FRASSON, 2002; BUTTLER, 2003) com o objetivo de identificar alternativas mais adequadas para o aproveitamento de resíduo de RCD.

5.1.1 Análises químicas

5.1.1.1 Difração de raios X

Os agregados convencionais e reciclados de RCD foram analisados por difração de raios X. Nas análises dos resultados apresentados na Figura 12 e no Quadro 2, observou-se a ausência de substâncias que poderiam conferir periculosidade aos resíduos, estabelecidas pela NBR 10004 – Resíduos Sólidos (ABNT, 2004). Sendo assim, a amostra do resíduo de RCD não apresentou indicação de que seja patogênica e perigosa, confirmando a classificação prescrita na norma citada como Resíduo classe II B - Inerte.

Figura 12 - Difratomogramas das amostras analisadas (agregados convencionais e reciclados de RCD) para comparação



Fonte: Própria autora, 2017.

Quadro 2 – Análise por difração de raios X dos agregados convencionais e reciclados.

Propriedades Determinadas	AMOSTRA	
	Agregado Convencional %m	Agregado Reciclado %m
Dióxido de silício (SiO ₂)	95,69	61,84
Dióxido de titânio (TiO ₂)	0,03	0,75
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	2,09	12,3
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	0,75	5,29
Óxido de Manganês (MnO)	0,01	0,12
Óxido de magnésio (MgO)	0,15	2,37
Óxido de cálcio (CaO)	0,07	7,27
Óxido de sódio (Na ₂ O)	0,33	2,04
Óxido de potássio (K ₂ O)	0,66	1,76
Pentóxido de fósforo (P ₂ O ₅)	0,01	0,15
Trióxido de enxofre (SO ₃)	0,19	0,43

Fonte: Própria autora, 2017

Esta análise apontou compostos de cimento Portland, por meio do teor de seus principais óxidos, que são: CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, SO₃ e os chamados óxidos secundários, como MgO, K₂O e Na₂O, que apareceram em pequenas quantidades. Dos óxidos secundários encontrados no resíduo, dois são de interesse: os óxidos de sódio e potássio, conhecidos como álcalis por estarem presentes no cimento (MANN, 1975; PETRUCCI, 1998).

Também, a análise dos componentes químicos deste resíduo, através da difração de raios X, mostrou-se próximas às demais análises químicas apontadas pela bibliografia para resíduos de concreto de modo geral (LIMA, 1999; OLIVEIRA, 2002).

As pequenas diferenças na composição química entre diferentes tipos de substituições não são, isoladamente, determinantes das propriedades do concreto, sendo estas influenciadas também por outras propriedades como as físicas e as morfológicas (MALHOTRA & MEHTA, 1996).

Com relação à potencialidade de aproveitamento deste resíduo, a análise, mostrou que o material apresenta altos teores de compostos semelhantes aos utilizados como adições ao concreto, como o dióxido de silício, óxido de alumínio, óxido de cálcio e óxido de ferro, entre outros (SWAMY et al., 1986 apud GEYER, 2001).

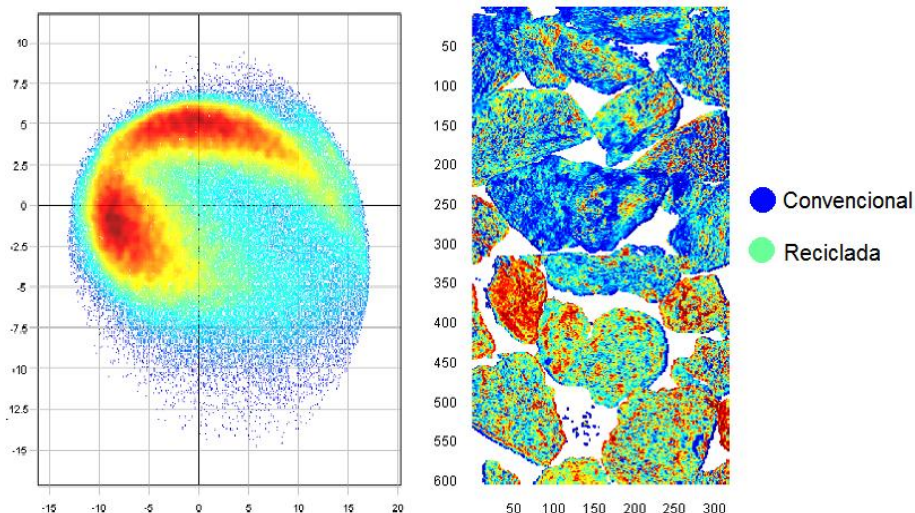
5.1.1.2 Imagem hiperespectral

O objetivo do ensaio foi o de comparar as amostras entre si, e também verificar alguns componentes químicos encontrados no ensaio de difração de raios X, que foram os óxidos encontrados em maior quantidade, como o Dióxido de silício, Óxido de alumínio, Óxido de Ferro, Óxido de cálcio.

Os resultados das análises por Imagem hiperespectral podem ser visualizados nas Figuras 13, 14 e 15.

Na Figura 13 foram observadas diferenças entre o agregado convencional e o reciclado, onde ficou evidenciada a presença de componentes químicos em proporções diferentes quando comparadas as cores na análise por Imagem Hiperespectral.

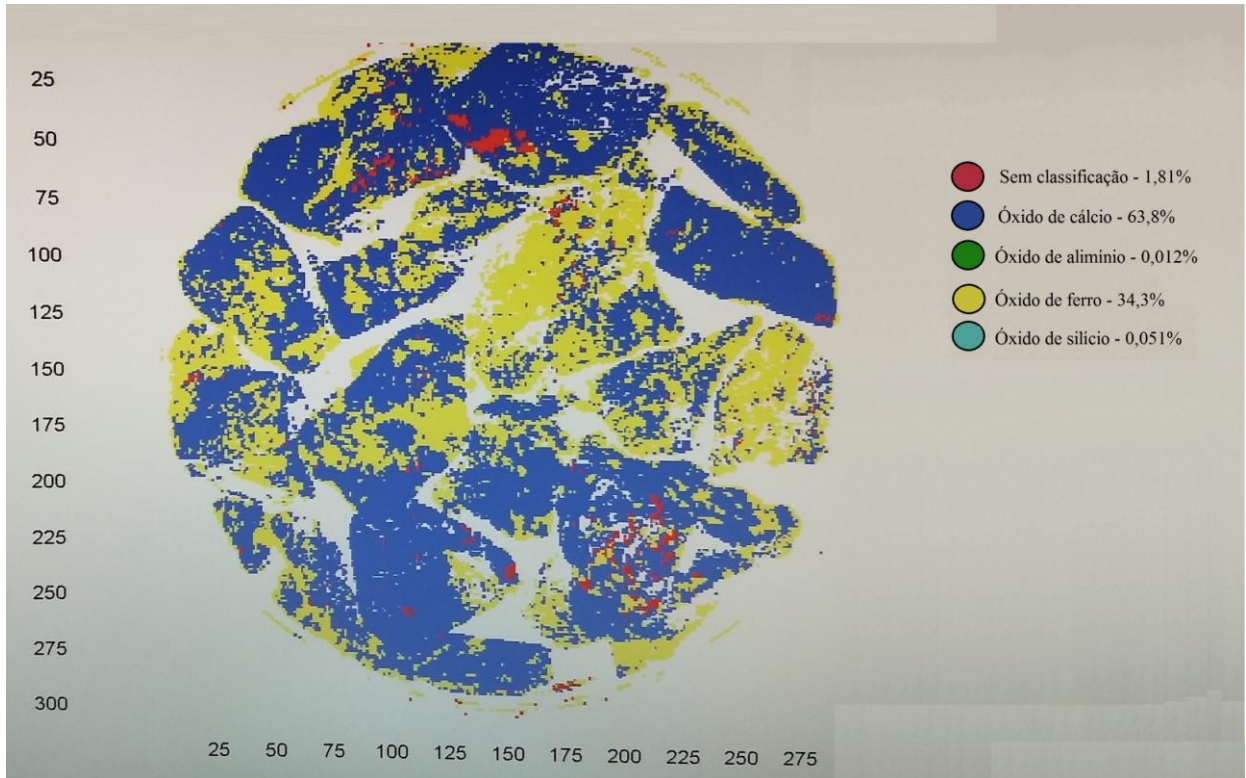
Figura 13 – Imagem hiperespectral gerada - Comparativa



Fonte – Própria autora, 2017

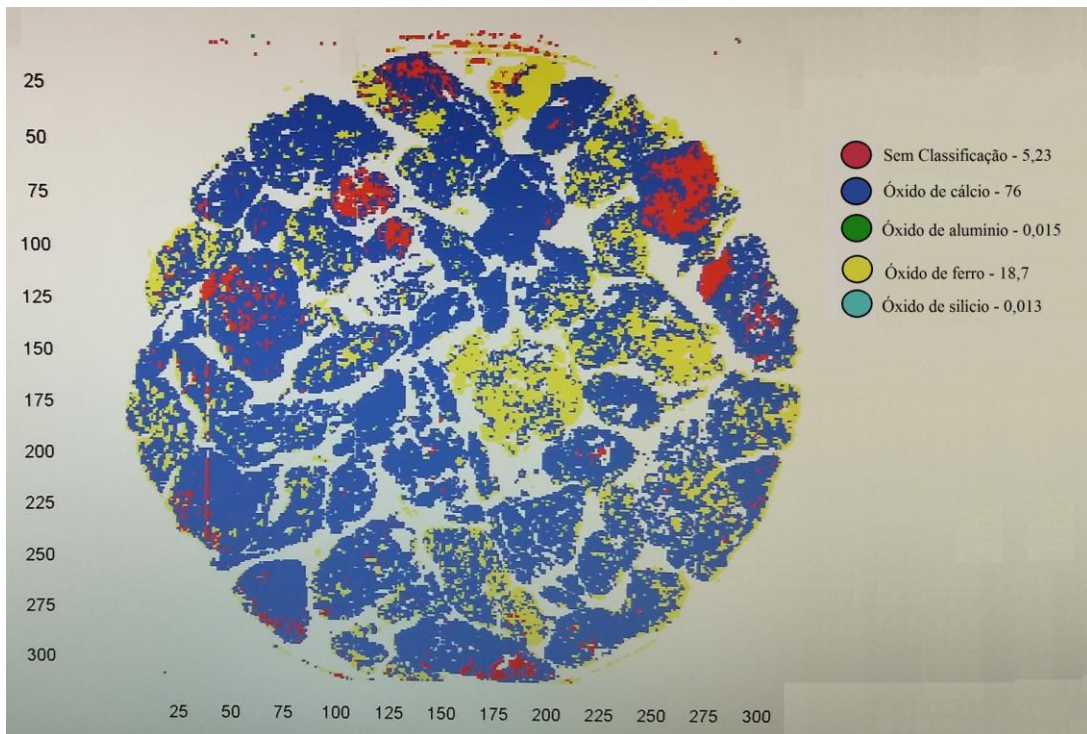
Os principais componentes químicos encontrados no ensaio por difração de raios X, dióxido de silício (SiO_2), Óxido de alumínio (Al_2O_3), Óxido de ferro (Fe_2O_3), Óxido de cálcio (CaO) – Quadro 2 foram analisados também por Imagem Hiperespectral para a confirmação da presença destes no agregado convencional (Figuras 14) e no reciclado (Figuras 15). Ficou evidenciada a presença de todos os componentes analisados em percentuais diferentes ao encontrado no ensaio de difração, mas como a imagem hiperespectral e a difração de raios X não são técnicas quantitativas podemos dizer que os resultados foram coerentes.

Figura 14 – Imagem hiperespectral gerada – Análise agregado convencional



Fonte – Própria autora, 2017

Figura 15 – Imagem hiperespectral gerada – Análise agregado reciclado



Fonte – Própria autora, 2017

5.1.1.3 Pozolanidade

O resultado do índice de atividade pozolânica com o cimento aos 28 dias, em relação à argamassa de referência, foi de 52,4 %. A norma NBR 12653 (ABNT, 2014), preconiza que este índice deve ser no mínimo igual a 75 % para ser considerado pozolânico, sendo assim, o material avaliado não atendeu a esta exigência da norma para ser considerado pozolânico. Com isso, a potencialidade de aproveitamento do resíduo RCD utilizado, quanto à pozolanidade com o cimento, pode ser descartada, tendo em vista que o valor apresentado deste índice está muito inferior ao estabelecido nas normas (NBR 11578, 1991; NBR 12653, 2014), que determinam a atividade do material pozolânico utilizado como substituição de no mínimo 75%, aos 28 dias.

5.1.2 Análises físicas

Neste subitem apresentam-se, as análises físicas comparativas entre os agregados reciclados e agregados convencionais. Os agregados utilizados neste trabalho podem ser elencados como: agregado miúdo convencional; agregado miúdo reciclado; agregado graúdo convencional e agregado graúdo reciclado.

5.1.2.1 Composição Granulométrica

Os estudos das composições granulométricas dos agregados, tanto convencional quanto reciclado, miúdo e graúdo, foram realizados com objetivo de verificar se o material se enquadrava nos limites estabelecidos pela NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Os resultados das composições granulométricas dos agregados miúdos, convencional e reciclado podem ser visualizados nos Quadro 3.

Quadro 3 – Composição granulométrica dos agregados miúdos, convencional e reciclados

Peneiras (mm)	Agregado miúdo convencional		Agregado miúdo reciclado	
	% Retida individual	% Retida acumulada	% Retida individual	% Retida acumulada
9,5	0,0	0	0,0	0
6,3	0,0	0	0,0	0
4,75	0,4	0	0,3	0,3
2,36	22,1	23	15,7	16
1,18	25,3	48	28,8	44,9
0,6	17,3	65	24,3	69,1
0,3	11,9	77	15,8	84,9
0,15	12,3	89	9,5	94,4

< 0,15	10,7	100	5,6	100
Total	100	---	100	---
	Módulo de finura	3,02	Módulo de finura	3,00
	Dimensão máxima característica (mm)	4,75	Dimensão máxima característica (mm)	4,00
	Gradação	Zona Utilizável Superior	Gradação	Zona Utilizável Superior

Fonte: Própria autora, 2017

Observou-se que o agregado miúdo reciclado apresentou uma composição granulométrica um pouco mais fina (3,00 %) que os agregados convencionais (3,02%), resultando em um módulo de finura um pouco menor. O tipo e a granulometria do resíduo, o britador e suas regulagens internas podem ter influenciado consideravelmente, a granulometria final dos agregados reciclados produzidos (BAZUCO, 1999; LIMA, 1999, BANTHIA e CHAN, 2000).

E ainda que o percentual de material fino passante na peneira 0,15 mm (número 100), situando em 5,6 % para esta amostra, que para Alves (2004), esta quantidade de material ultrafino é desejável para produção de blocos de concreto, visto que permite um pequeno aumento do volume da pasta, que é um parâmetro muito importante no concreto para produção de blocos. A quantidade de materiais finos presentes no agregado miúdo reciclado é fator considerado no programa experimental, pois poderá proporcionar misturas de blocos de concreto com tendência a segregar menos que os blocos de concreto produzidos com areias convencionais, em virtude da sua maior quantidade de finos.

Neville (1997) recomenda que os agregados apresentem uma quantidade suficiente de material passante na peneira de diâmetro 0,15 mm (número 100), para que as misturas de concreto fiquem menos ásperas, e conseqüentemente apresentem menor segregação.

Já os resultados das composições granulométricas dos agregados graúdos, convencional e reciclado podem ser visualizados nos Quadro 4.

Quadro 4 – Composição granulométrica dos agregados graúdo, convencional e reciclado

Peneiras (mm)	Agregado miúdo convencional		Agregado miúdo reciclado	
	% Retida individual	% Retida acumulada	% Retida individual	% Retida acumulada
9,5	4,4	5	3,9	3,9
6,3	34,2	38,6	45,7	49,6

4,75	32,4	71	41,7	91,3
2,36	20,3	92	3,8	95,1
1,18	4,2	96	1,0	96,1
0,6	1,7	97	0,6	96,8
0,3	0,8	98	0,7	97,4
0,15	0,7	99	0,9	98,4
< 0,15	1,3	100	1,6	100,0
Total	100	---	100	---
	Módulo de finura	3,02	Módulo de finura	3,00
	Dimensão máxima característica (mm)	4,75	Dimensão máxima característica (mm)	4,00
	Graduação	Zona Utilizável Superior	Graduação	Zona Utilizável Superior

Fonte: Própria autora, 2017

Observou-se que a composição granulométrica deste agregado graúdo reciclado não se encaixou dentro da faixa da composição do agregado de graduação 0 (Brita 0) e também em nenhuma das outras graduações prescritas pela NBR 7211 (ABNT, 2009), que fornece a especificação de agregados para concreto. Sendo assim, utilizou-se o agregado graúdo reciclado sem manipulações em sua granulometria, pois o objetivo era de se utilizar o agregado no estado em que ele era produzido, com o mínimo de beneficiamento possível.

De maneira geral, a textura dos agregados reciclados é geralmente mais rugosa e porosa do que a dos agregados convencionais. Segundo Hamassaki *et al.* (1996), a superfície dos agregados naturais pode ser classificada como praticamente polida e a dos agregados reciclados, como áspera a muito áspera. Para Morel *et al.* (1993), a rebitagem do material poderia favorecer a redução da porosidade do mesmo, principalmente no caso do agregado reciclado de concreto, pois este procedimento ajudaria a diminuir a quantidade da argamassa aderida à superfície. Todavia, o custo do beneficiamento aumentaria muito.

5.1.2.2 Massa Específica

Apresentam-se abaixo no Quadro 5 os resultados da massa específica dos agregados graúdos e miúdos convencionais e também dos agregados graúdos e miúdos reciclados.

Quadros 5 – Resultados de massa específica dos agregados miúdos e graúdos, convencional e reciclados

Fração granulométrica	Tipo de Agregado	Massa específica seca (Kg/ dm³)	Massa específica saturada (Kg/ dm³)
Miúdo	Convencional	2,64	---
Miúdo	Reciclado	2,56	---
Graúdo	Convencional	2,60	2,60
Graúdo	Reciclado	2,55	2,55

Fonte: Própria autora, 2017

Analisando-se o Quadro 5, observou-se que a massa específica seca do agregado miúdo reciclado apresentou-se próxima aos valores encontrados para a maioria dos agregados convencionais utilizados em concretos.

Observou-se ainda que os resultados apresentados estão em conformidade com a maioria da bibliografia sobre agregados reciclados de concreto (POON et al., 2002; BUTTLER, 2003), nas quais os agregados reciclados tenderam a apresentar massas específicas inferiores aos agregados convencionais.

5.1.2.3 Massa Unitária

Os resultados do ensaio de massa unitária estão apresentados no Quadro 6.

Quadros 6 – Resultados de massa unitária dos agregados miúdos e graúdos, convencional e reciclados

Tipo de Agregado		Massa unitária (Kg/ dm³)
Miúdo	Convencional	1,53
Miúdo	Reciclado	1,27
Graúdo	Convencional	1,44
Graúdo	Reciclado	1,19

Fonte: Própria autora, 2017

Observou-se que os agregados reciclados apresentaram massas unitárias em consonância com a indicada pela bibliografia para agregados, podendo ser utilizado para a produção de novos tipos de concretos. Em trabalho desenvolvido por Topçu e Günçan (1995), os agregados graúdos reciclados de concreto utilizados possuíam massa unitária de 1,16 kg/dm³. Enquanto a massa unitária dos agregados naturais varia entre 1,30 a 1,75 kg/dm³ (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

5.1.2.4 Teor de Material Pulverulento

No Quadro 7 estão apresentados os resultados do teor de material pulverulento, calculados para os agregados miúdos.

Quadro 7 – Teor de material pulverulento dos agregados miúdos, convencional e reciclado

Tipo de agregado		Teor de material pulverulento (%)	Limites da NBR NM 46 (ABNT, 2001) (%)
Miúdo	Convencional	4,11	≤ 5,0
Miúdo	Reciclado	7,38	≤ 5,0

Fonte: Própria autora, 2017

Através dos resultados apresentados no Quadro 7 observou-se que agregado miúdo reciclado apresentou teor de material pulverulento cerca de 1,79 vezes superior ao do agregado miúdo convencional.

Constatou-se nos agregados reciclados um elevado teor de materiais pulverulentos, estes superiores aos requisitos máximos especificados pela NBR NM 46 (ABNT, 2001), estando em consonância com a maioria da bibliografia referente ao assunto (COUTINHO, 1997a; ÂNGULO, 1998, OLIVEIRA, 2002, BUTTLER, 2003).

Segundo Oliveira (2002), partículas finas até o limite recomendado por norma auxiliam no preenchimento dos vazios da areia da argamassa, que facilita o envolvimento da areia pelo cimento. Por outro lado, se houver excesso de partículas finas, estas envolvem as partículas de cimento com prejuízo às propriedades do concreto. O excesso de materiais pulverulentos exige a adição de uma quantidade maior de água para a hidratação do cimento, o que aumenta a quantidade de vazios no concreto e pode ocasionar uma redução da resistência mecânica e da durabilidade do concreto.

Exceto pelas considerações existentes e aqui apresentadas, não foram verificados resultados na bibliografia que relacionem a influência direta dos materiais pulverulentos nas propriedades de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto.

5.1.2.5 Absorção de Água

O desgaste por abrasão dos agregados foi obtido através do ensaio de Abrasão Los Angeles. Este ensaio simula o desgaste sofrido pelos agregados quando colocado na máquina Los Angeles com uma carga abrasiva e submetido a um determinado número de revoluções

(FURNAS, 1997). Deste modo, este ensaio oferece um indicativo da qualidade do material a ser utilizado na produção do concreto, determinando-se a resistência à fragmentação por choque e atrito das partículas de agregado graúdo.

Pelos resultados apresentados no Quadro 8, constatou-se a elevada absorção de água dos agregados reciclados de concreto quando comparados com os agregados convencionais, conforme a maioria dos pesquisadores apontaram (BAZUCO, 1999).

Quadro 8 – Taxa de absorção dos agregados miúdos e graúdos, convencional e reciclado

Tipo de agregado		Absorção de água (%)	Relação reciclado/convencional
Miúdo	Convencional	0,50	---
	Reciclado	2,60	5,2
Graúdo	Convencional	1,10	---
	Reciclado	3,00	2,72

Fonte: Própria autora, 2017

Segundo De Pauw *et al.* (1998), os agregados reciclados poderão absorver parte da água da mistura, reduzindo a trabalhabilidade do concreto fresco. Para minimizar este efeito, os autores recomendam a determinação dessa quantidade de água a ser absorvida por meio da realização de testes experimentais.

Devido à maior absorção dos agregados reciclados, vários autores recomendam seu uso na condição saturada com superfície seca (SSS), para evitar que o agregado retire água da pasta, necessária para a hidratação e ganho de resistência (HANSEN, 1992; SCHULZ & HENDRICKS, 1992; ANDRADE *et al.*, 1998).

5.1.2.6 Desgaste por abrasão

Conforme mostrado no Quadro 9, a NBR NM 51 (ABNT, 2001) considera inadequado para uso em concretos o agregado graúdo que apresentar índices de perda por abrasão superiores a 50% (em massa). Neste caso, verificou-se que os resultados obtidos satisfazem os limites aceitáveis prescritos nesta norma.

Quadro 9 – Perda de massa por abrasão dos agregados graúdos, convencional e reciclado

Tipo de agregado		Perda de massa por abrasão (%)	Limites da NBR NM 51 (ABNT, 2001) (%)
Graúdo	Convencional	42	≤ 50
	Reciclado	40	≤ 50

Fonte: Própria autora, 2017

Observou-se ainda que os agregados graúdos, tanto o convencional quanto o reciclado, apresentaram praticamente a mesma perda de massa por abrasão. E estão em conformidade com a bibliografia que aponta que os agregados reciclados apresentam menor resistência ao impacto e menor resistência ao desgaste por abrasão que os agregados naturais. No caso dos agregados reciclados de concreto, tal fato se deve à argamassa aderida e sua fraca ligação com as partículas de agregado (BAIRAGI, *et al. apud* BAZUCO, 1999).

5.2 Blocos de concreto - substituição dos agregados convencionais pelos agregados reciclados de RCD

5.2.1 Concreto fresco para produção dos blocos

5.2.1.1 Trabalhabilidade

Os resultados do ensaio de determinação da trabalhabilidade pelo Cannon Time, podem ser visualizados através do Quadro 10.

Quadro 10 – Valores de trabalhabilidade pelo Cannon Time

Traço	Propriedades	Teor de substituição (%)				
		0	25	50	75	100
T 1	Cannon Time (s)	23	20	21	20	20
T 2	Cannon Time (s)	21	20	21	20	19
T 3	Cannon Time (s)	16	17	16	20	18

Fonte: Própria autora, 2017

Durante a realização das misturas, em todos os traços utilizados, verificou-se que cada concreto apresentava características semelhantes, na medida em que era alterado o teor de substituição. Pode-se observar através do Quadro 10, que todos os concretos estudados atenderam aos limites estabelecidos por Alves (2004), ou seja, atenderam ao tempo de vibração padronizado para blocos entre (23 ± 7) s.

Não foram verificados resultados significativos que comprovem a redução da trabalhabilidade com o aumento do teor de substituição, conforme aponta a maioria da bibliografia envolvendo agregados reciclados de concreto (LEVY, 1997; TOPÇU & GÜNÇAN, 1995; HENDRIKS, 1992; LEITE, 2001; SOUSA, 2001; HANSEN, 1992).

Provavelmente não foi observada esta redução da trabalhabilidade com o aumento do teor de substituição para os concretos, em virtude dos agregados estarem na condição SSS,

quando foram incorporados à mistura, fator este que pode ter sido responsável pela compensação do elevado teor de água absorvido pelos agregados reciclados.

5.2.1.2 Massa Específica

No Quadro 11 estão apresentados os resultados de massa específica, para os concretos no estado fresco.

Quadro 11 – Massa específica dos concretos estudados no estado fresco

Massa Específica (Kg/dm ³)					
Traço	Teor de substituição (%)				
	0	25	50	75	100
T 1	2,203	2,211	2,172	2,172	2,133
T 2	2,256	2,247	2,238	2,209	2,174
T 3	2,262	2,243	2,232	2,229	2,170

Fonte: Própria autora, 2017

Observou-se através dos dados exibidos no Quadro 11, que há uma redução da massa específica do concreto reciclado à medida que o teor de substituição do agregado convencional pelo reciclado aumenta, fato este que poderia indicar uma possível influência das propriedades observadas nos agregados reciclados de RCD, na massa específica dos concretos.

De acordo com Latterza e Machado Jr. (1999), uma das possíveis justificativas para o efeito de redução da massa específica dos blocos de concreto reciclados, pode ser devido à menor massa específica apresentada pelo agregado reciclado e por uma quantidade maior de vazios incorporada ao concreto com este material.

5.2.2 Concreto no estado endurecido

5.2.2.1 Resistência à compressão

No Quadro 12 estão apresentados os resultados de resistência à compressão, pelo delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 5 x 2 (traço x teor x dia) a uma probabilidade de 5%. No quadro 13 estão apresentadas as equações geradas, já que o fator traço x teor x dia foi significativo segundo o método ANAVA. Sendo que pode-se atribuir qualquer valor de teor de substituição (x) que encontra-se um novo valor de resistência à compressão (Y).

Quadro 12 – Valores médios de resistência à compressão

Resistência à compressão											
Traço	Propriedades	Teor de substituição (%)									
		0		25		50		75		100	
		7 dias	28	7 dias	28	7 dias	28	7 dias	28	7 dias	28
T1	Fb (MPa)	3,9	4,4	3,0	3,8	2,5	2,8	1,8	2,0	1,5	1,7
T2	Fb (MPa)	5,1	5,7	4,2	4,5	3,9	4,1	3,2	3,5	2,9	3,1
T3	Fb (MPa)	9,8	10,5	6,4	8,2	5,7	7,3	5,2	5,7	5,1	5,4

*Fb= média dos valores da resistência à compressão

Fonte: Própria autora, 2017

Quadro 13 – Equações geradas para resistência à compressão

Resistência à compressão			
Traço	Dias	Equação	R ² (%)
T1	7	$Y = 3,88 - 0,034x + 0,00010x^2$	98,80
	28	$Y = 4,57 - 0,041x + 0,00012x^2$	98,91
T2	7	$Y = 5,08 - 0,034x + 0,00013x^2$	98,48
	28	$Y = 5,62 - 0,040x + 0,00015x^2$	98,66
T3	7	$Y = 9,52 - 0,12x + 0,00078x^2$	96,01
	28	$Y = 10,47 - 0,08x + 0,00036x^2$	98,51

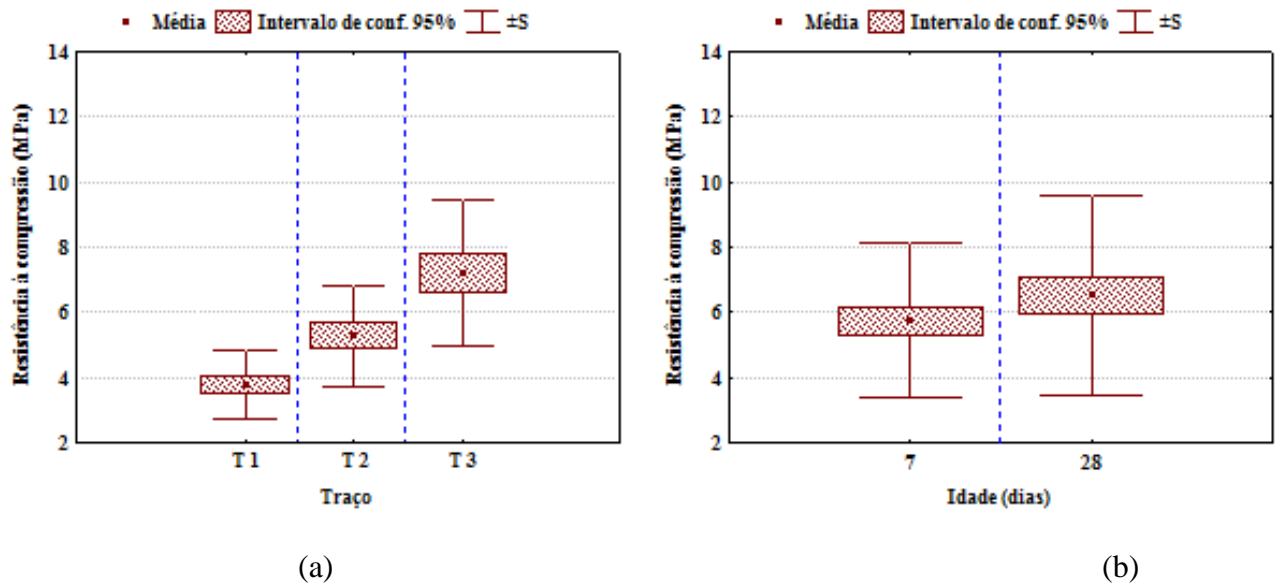
*Y= Valores da resistência à compressão

*x= Valores de teor de substituição

Fonte: Própria autora, 2017

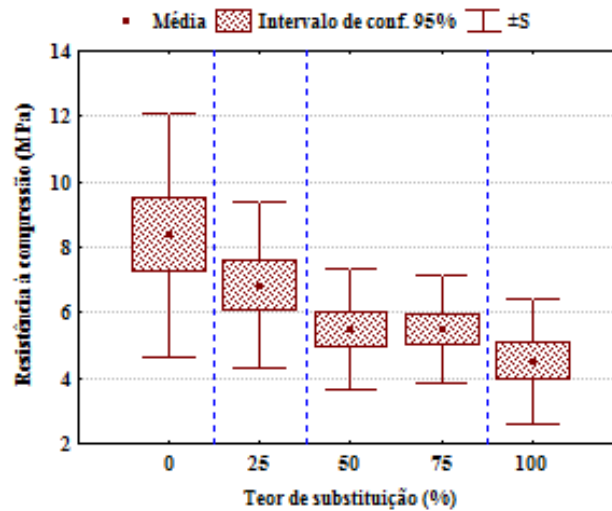
Tendo em vista que as variáveis mostraram-se significativas, realizou-se a comparação múltipla de médias, pelo método de Duncan conforme descrevem Nanni e Ribeiro (1987), com o objetivo de agrupar as médias que não diferiram significativamente entre si. Nas Figuras 16 e 17 estão apresentadas estimativas da média global, tomados os fatores principais.

Figura 16 – Estimativa da média global dos valores de resistência à compressão: (a) para cada traço; (b) para cada idade. As linhas tracejadas verticais definem os grupos



Fonte: Própria autora, 2017

Figura 17 – Estimativa da média global dos valores de resistência à compressão, para cada teor de substituição.



Fonte: Própria autora, 2017

Analisando a Figura 15a, pode-se observar que o comportamento geral dos blocos de concreto seguiu em conformidade ao método de dosagem proposto no programa experimental, segundo o qual, o aumento do traço (aumento do consumo de cimento) resultou em maior resistência à compressão dos blocos. Pode-se observar que o comportamento geral dos blocos de concreto seguiu em conformidade aos padrões comumente relatados na literatura, com o aumento da resistência proporcional ao consumo de cimento e inverso à

relação água/cimento. Esse fato é explicado por Mehta e Monteiro (1994) como uma consequência natural do progressivo enriquecimento da matriz (pasta hidratada), em virtude da diminuição da porosidade gerada, pela redução da relação água/cimento. E ainda pode-se observar a existência de três grupos distintos, logo, estes traços são estatisticamente diferentes, no que diz respeito aos seus efeitos na resistência à compressão. Este resultado vem comprovar a importância deste fator na produção de blocos de concreto, principalmente quando são produzidos blocos com função estrutural.

Quanto ao agrupamento de médias realizado para o fator idade, mostrado na Figura 15b, observaram-se dois grupos distintos, mostrando que houve diferença significativa entre as idades de 7 e 28 dias. Segundo Medeiros (1993), a idade de 7 dias é uma idade característica na produção de blocos de concreto. Já Machado Jr e Agnesini (1999) dizem que, este elevado ganho de resistência, observado aos 7 dias nos blocos de concreto, provavelmente se deve à elevada porosidade e ao alto teor de absorção apresentados pelos agregados reciclados, características estas que podem ter propiciado uma boa aderência à matriz do concreto e um ganho de resistência nas primeiras idades. Observou-se ainda o comportamento da resistência ao longo do tempo, acréscimo da resistência da idade inicial (7 dias) para a idade mais elevada (28 dias), mostrando que cerca de 80% da resistência total aos 28 dias foi alcançada aos 7 dias. Este comportamento confirmou o pequeno crescimento da resistência dos blocos de concreto com a idade, apontado de maneira análoga pela bibliografia (MEDEIROS, 1993; TANGO, 1994; FRASSON, 2000), pois com a utilização de concretos secos a evolução das reações responsáveis pelo ganho de resistência se processa em pouquíssimo tempo, ocorrendo com as reações de hidratação dos compostos do cimento.

O agrupamento de médias para os teores de substituição, exibido na Figura 16, resultou em quatro grupos distintos, sendo que apenas os teores de substituição 50% e 75% não apresentaram diferenças significativas entre si. De modo geral, observou-se que quanto maior o teor de substituição dos agregados reciclados, menor é o resultado de resistência alcançado para qualquer traço, ou seja, são grandezas inversamente proporcionais. Esta tendência de redução da resistência do bloco de concreto com o aumento do teor de substituição apresentou valores médios aproximados de decréscimo, em relação ao bloco de concreto de referência (0% de material reciclado).

Segundo Ribeiro (2005), este decréscimo da resistência à compressão dos blocos de concreto, na medida em que foi aumentado o teor de substituição dos agregados reciclados,

pode ser assim justificado: como o agregado reciclado apresentou elevada porosidade e textura mais rugosa, ocorreu uma melhoria da zona de transição pasta/agregado, pois o agregado poroso atraiu a migração de íons que tornaram a zona de transição mais densa e melhoraram o intertravamento mecânico do agregado com a matriz

Esta mesma redução da resistência em concretos, utilizando-se agregados reciclados, foi observada por Hansen e Boegh (1985), Kikuchi et al. (1998) e Ajdukiewicz e Kliszczewicz (2002). Topçu e Günçan (1995) substituíram teores de 0%, 30%, 50%, 70% e 100% de agregados convencionais 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. Limbachiya et al. (1998) também concluíram em seu estudo com agregados reciclados de concreto que quanto maior o teor de agregado reciclado utilizado, menores eram as resistências alcançadas pelas misturas.

Conforme Hansen (1992), quando se usa reciclado graúdo e miúdo é necessário que se aplique mais 15% de cimento no concreto. Entretanto, em situações práticas é necessário ainda mais cimento, já que os miúdos reduzem a resistência do concreto em pelo menos 10% e no pior caso em 50%.

5.2.2.2 Absorção de água

Analisando-se o Quadro 14, observou-se que os traços T1, T2 e T3 apresentaram-se em grupos distintos, sendo, portanto, significativamente diferentes em relação ao fator traço x teor gerando assim equações conforme o Quadro 15. Observou-se também que a absorção de água do bloco diminuiu com o aumento do traço. Talvez este comportamento possa ser explicado segundo Neville (1997), pelo modelo de Powers, no qual o aumento do traço (aumento do consumo de cimento) decorreu na redução de água no sistema (redução da relação água/cimento) representando a redução dos vazios capilares. Somado a isto, há ainda uma menor possibilidade de interconexão dos poros, significando uma menor facilidade de entrada da água no bloco.

Quadro 14 – Valores médios da absorção de água dos blocos de concreto

Traço	Propriedades	Teor de substituição (%)				
		0	25	50	75	100
T1	Absorção (%)	7,38	7,64	9,25	9,59	11,96

T2	Absorção (%)	6,76	8,11	9,15	10,02	19,19
T3	Absorção (%)	4,97	7,86	7,81	8,89	9,94

Fonte: Própria autora, 2017

Quadro 15 – Equações geradas para absorção de água

Resistência à compressão		
Traço	Equação	R² (%)
T1	$Y = 7,30 + 0,030x - 0,00021x^2 + 0,000004x^3$	96,29
T2	$Y = 6,44 + 0,18x - 0,005x^2 + 0,00004x^3$	98,98
T3	$Y = 5,04 + 0,16x - 0,002x^2 + 0,000016x^3$	97,13

*Y= Valores da absorção de água

*x= Valores de teor de substituição

Fonte: Própria autora, 2017

Observou-se ainda que os cinco teores de substituição são estatisticamente diferentes (presentes em grupos distintos) e que houve um aumento da absorção com o aumento do teor de substituição. Este resultado confirmou a maior porosidade dos blocos com o aumento do teor substituição, observada quanto ao aspecto superficial dos blocos.

Segundo Levy (2001), quando os agregados convencionais são substituídos por reciclados, a água absorvida pela pasta que chega até os reciclados é facilmente absorvida por estes, devido sua maior absorção, fazendo com que a pasta continue absorvendo mais água, aumentando a porosidade do concreto. Sendo o agregado reciclado mais absorvente que o convencional, blocos de concreto com o material reciclado apresentam absorção maior que blocos de concreto convencional (PINTO, 2000).

5.2.2.3 Teor de umidade

Quadro 16 – Valores médios do teor de umidade

Traço	Propriedades	Teor de substituição (%)				
		0	25	50	75	100
T1	Teor de umidade (%)	15,99	24,07	19,19	20,25	15,74
T2	Teor de umidade (%)	39,95	32,35	27,56	21,00	24,57
T3	Teor de umidade (%)	49,96	38,67	29,16	35,31	28,97

Fonte: Própria autora, 2017

Observou-se que o teor de umidade aumentou na medida em que foi aumentado o traço (aumento do consumo de cimento); isto pode ser explicado pela menor porosidade da matriz (pasta de cimento) com a redução da relação a/c, devido ao aumento do consumo de cimento. Conforme Mehta e Monteiro (1994), a água adicionada ao concreto é indiretamente responsável pelo transporte de fluidos na pasta endurecida porque o seu teor determina os espaços vazios depois que for consumida pelas reações de hidratação do cimento ou pela evaporação para o ambiente. Somado a isto, há ainda uma maior possibilidade de interconexão dos poros, o que significaria uma maior facilidade de entrada e saída de água, aumentando o teor de umidade do bloco.

Estes resultados confirmam os obtidos nos ensaios de absorção de água, ou seja, quanto maior a absorção, menor o teor de umidade obtido, visto serem grandezas inversamente proporcionais.

5.2.2.4 Massa Específica seca

Quadro 17 – Valores médios da massa específica seca dos blocos de concreto

Traço	Propriedades	Teor de substituição (%)				
		0	25	50	75	100
T1	Massa específica seca	1,68	1,82	1,68	1,69	1,60
T2	Massa específica seca	1,89	1,86	1,82	1,69	1,67
T3	Massa específica seca	1,99	1,88	1,91	1,97	1,81

Fonte: Própria autora, 2017

Sendo assim, o aumento do traço resultou no aumento da massa específica seca dos blocos. Este comportamento pode ser justificado como consequência do aumento gradativo dos grãos de cimento (com o aumento do traço). Segundo Neville (1997), os grãos de cimento, além de possuírem maior massa específica, apresentam dimensões de seus grãos significativamente inferiores às dos agregados reciclados, preenchendo os vazios ainda existentes nas composições analisadas, aumentando o grau de empacotamento, resultando no aumento da massa específica seca dos blocos.

Observou-se que quanto maior o teor de substituição dos agregados reciclados, menor é o resultado de massa específica seca alcançada para qualquer traço, ou seja, são grandezas inversamente proporcionais.

Esta redução da massa específica seca, com o aumento do teor de substituição, pode ser explicada pela menor massa específica do agregado reciclado, quando comparado ao

agregado convencional (SOUSA, 2001). Provavelmente o agregado graúdo reciclado contribuiu com esta redução da massa específica, devido à massa específica deste agregado ser inferior à do agregado graúdo convencional.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste estudo, buscou-se verificar a potencialidade da utilização do resíduo de RCD, minimizando os impactos ambientais, além de poder vir a agregar valor a um material, atualmente, sem valor econômico.

Dois fatores foram preponderantes na escolha desta alternativa: o ambiental, no que se refere à disposição deste resíduo gerado, e o técnico, através da utilização deste material como insumo para blocos de concreto para alvenaria, fazendo com que o resíduo de RCD passe a atuar como subproduto.

As considerações aqui apresentadas, apesar de estarem em consonância com grande parte da bibliografia existente na área de reaproveitamento de variados tipos de resíduos de concreto, não devem ser tomadas de forma absoluta, pois se referem somente aos dados obtidos em ensaios de blocos de concreto que utilizaram tipos, quantidades e qualidades específicas de materiais e técnicas de execução. Sua representatividade deve ser firmada através da execução de pesquisas complementares.

A partir da caracterização dos materiais utilizados neste trabalho, foi possível constatar o comportamento dos RCD quanto às possibilidades de aproveitamento:

- O RCD utilizado no desenvolvimento desta pesquisa apresentou na sua composição basicamente rocha natural e argamassa, proveniente de uma mistura com consumo de cimento igual a 70 kg/m³;
- A análise química do material não indica a presença de compostos patogênicos, conforme estabelece na NBR 10004 (ABNT, 2004);
- Não foram necessárias análises químicas mais precisas, tais como lixiviação e solubilização dos agregados reciclados de RCD, visto estes agregados estarem classificados como inertes, conforme estabelece a normalização para resíduos sólidos, NBR 10004 (ABNT, 2004);
- A classificação do RCD, conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004), enquadra este na Classe II B– Inertes, caracterizando-se como um resíduo que não apresenta periculosidade;

- Com o ensaio de pozolanicidade com o cimento, foi possível verificar que o agregado miúdo reciclado apresentou índice de atividade pozolânica muito inferior ao valor mínimo exigido pelas normas para Materiais Pozolânicos. Estes resultados vieram a confirmar que não existe atividade pozolânica no material analisado;
- As curvas granulométricas, para todos os agregados analisados, evidenciaram materiais com granulometria contínua, aspecto considerado positivo para produção de blocos de concreto, devido ao melhor arranjo existente entre as partículas;
- A massa específica dos agregados reciclados foi menor que a massa específica das frações de agregados convencionais miúdos e graúdos, respectivamente. Também a massa unitária dos agregados reciclados foi inferior à massa unitária dos agregados convencionais miúdos e graúdos. Tais reduções nas massas específicas e unitárias dos agregados reciclados não são muito significativas quando comparadas com valores obtidos para outras propriedades;
- As taxas de absorção dos agregados reciclados foram maiores quando comparadas às taxas de absorção dos agregados convencionais. Deste modo, há necessidade de compensá-las durante a mistura dos concretos para produção dos blocos, de modo que não haja diminuição excessiva da água livre das misturas de concreto para blocos, produzidos com agregados reciclados, fato este que comprometeria a moldagem dos blocos;
- Analisando-se sobre a ótica de aproveitamento do resíduo na construção civil, as características químicas, físicas e morfológicas do resíduo indicam que o seu uso nos blocos de concreto pode ser uma proposta tecnicamente viável, na forma de substituição, como agregado.

O programa experimental realizado nesta pesquisa trouxe as seguintes conclusões quanto aos blocos de concreto produzidos:

- A massa específica no estado fresco, dos concretos com agregados reciclados, não apresentou diferenças significativas em relação à massa específica dos blocos de concreto com agregados convencionais;
- Não foram verificados valores significativos que comprovem a redução da trabalhabilidade com o aumento do teor de substituição, ou seja, os agregados

reciclados não prejudicaram a trabalhabilidade do concreto para blocos. Isto pode ser justificado pela pré-umidificação dos agregados (SSS), fazendo com que haja uma redução da influência da taxa de absorção na perda de trabalhabilidade dos concretos reciclados;

- Blocos de concreto com teores de substituição de agregados reciclados 25%, 50%, 75% e 100%, apresentaram uma redução da resistência, quando comparados aos blocos de referência (0%). Estas reduções foram proporcionais aos teores de substituições utilizados. Todavia, este decréscimo observado não causou prejuízos aos blocos de concreto, visto que estes apresentaram desempenhos mecânicos satisfatórios e condizentes com as normalizações;
- Com base no aspecto superficial dos blocos de concreto, verificou-se que todos os blocos analisados apresentaram superfície homogênea, áspera e ausência de fissuras. Entretanto, as superfícies dos blocos de concreto se mostraram mais porosas na medida em que foi aumentado o teor de substituição dos agregados reciclados;
- A resistência à compressão dos blocos pode ter sido influenciada pela porosidade dos materiais que os compõem e pela porosidade da zona de transição. Quando se utilizou agregado reciclado nas misturas de concreto, a relação a/c e o teor de agregado gráudo reciclado podem ter sido os fatores de maior influência na determinação da resistência, ou seja, a porosidade da matriz, determinada pela relação a/c , e a porosidade do agregado podem ter sido fatores de fundamental importância na resistência final dos blocos;
- Observou-se que o comportamento geral dos blocos de concreto reciclados seguiu em conformidade os padrões comumente relatados nas normalizações e literatura (NBR 6136, 2016; TANGO, 1984; TANGO, 1994; MEDEIROS, 1993; SOUSA, 2001; ANDOLFATO, 2002; FRASSON, 2002);
- Quanto à absorção de água dos blocos de concreto, verificou-se que esta propriedade aumentou na medida em que eram aumentados os teores de substituição de agregados reciclados. Este aumento da absorção pode ser explicado pela tendência da maior absorção de água do agregado reciclado devido à sua elevada porosidade;

- Houve uma redução do teor de umidade dos blocos com o aumento do teor de substituição de agregados reciclados. Esta redução do teor de umidade observada pode ser justificada pela maior porosidade apresentada, confirmada nos ensaios de absorção de água, os quais contribuíram para facilitar o mecanismo de entrada e saída de água (devido à uma possível maior interconexão entre os poros);
- Quanto à massa específica aparente seca dos blocos de concreto, verificou-se uma tendência de redução à medida que foi aumentado o teor de substituição. Esta redução da massa específica seca, com o aumento do teor de substituição, pode ser explicada pela menor massa específica do agregado reciclado, quando comparado ao agregado convencional;
- Os ensaios de absorção de água, teor de umidade e massa específica aparente seca estão em conformidade com os obtidos nos ensaios de resistência, ou seja, o aumento do teor de substituição gerou reduções no desempenho dos blocos.

Concluindo, os resultados apontaram as potencialidades de utilização do resíduo de RCD na produção dos blocos de concreto. Sendo que o teor de substituição mais indicado foi de 25%, no qual se faria uma composição de 1:3 sendo 1 porção reciclado para três porções convencionais, podendo ser este utilizado em todos os locais prescritos pela NBR 6136, para cada resistência, já que este teor foi o único que atende os três traços.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.
- _____. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.
- _____. **NBR 5735**: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, 1991.
- _____. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1999.
- _____. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos: determinação a atividade pozolânica com o cimento Portland: índice de atividade pozolânica com cimento. Rio de Janeiro, 2014..
- _____. **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria - Especificação. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 7211**: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR 7215**: Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- _____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **NBR 11579**: Cimento Portland: determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (número 200). Rio de Janeiro, 2013
- _____. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto . Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR 15113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR NM 30**: Agregados: determinação da absorção de água em agregados miúdos. Rio de Janeiro, 2001.

- _____. **NBR NM 45:** Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- _____. **NBR NM 46:** Agregados: determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometros por lavagem. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. **NBR NM 51:** Agregado graúdo: ensaio de abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo: determinação da massa específica, massa aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR NM 248:** Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. Usos recomendados para agregados reciclado. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em <<http://www.abrecon.org.br>>. Acesso em 16 de setembro de 2016.
- ABREU, J. V. **Estudo do concreto de alta resistência compactado com rolo para pavimentação.** 2002. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- AJDUKIEWICZ, A.; KLISZCZWICZ, A. Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. **Cement & Concrete Composites**, v. 24, p. 269-79, 2002
- ALAVEDRA, P.; DOMINGUEZ, J.; GONZALO, E.; et al. “La construction sostenible. El estado da la Cuestion.” **Informes de la Construction**, v.49, nº 451, pp. 41-47, 1997.
- ALVES, J. D. **Concretos alternativos para obras rurais.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2002. 11 p. 1CD-ROM.
- ANDOLFATO, R. P.; CAMACHO, J. S.; MAURÍCIO, R. M. Blocos de concreto: **A busca de um traço otimizado.** Revista IBRACON, v. 29, Ano X, São Paulo, p.32-39, 2002.
- ANDRADE, R. C.; ROCHA, J.C.; PRUDÊNCIA JR., L. R. CHERIAF, M. Aproveitamento do entulho da construção civil como agregado para concreto. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 2., 1998, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, PURGS, 1998, p. 139-43
- ANGULO, S. C. **Produção de concretos com agregados reciclados.** 1998. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Construção Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1998.
- ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.** In: SEMINÁRIO

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRÁTICAS RECOMENDADAS, 4., 2001, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: Comitê Técnico CT 206 Meio Ambiente (IBRACON), 2001. p. 43-56. Disponível em: < <http://www.pcc.usp.br/artigos1.htm>>. Acesso em 28 de novembro de 2016.

BALLISTA, L. P. **Microconcretos leves estruturais com agregados graúdos reciclados modificados com látex estireno-butadieno**: estudo das propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade. 2003. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

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. Punta del Este: EDITOR, 2000, 14p.

BARRA, M.; VÁZQUEZ, E. The Influence of Retained Moisture in Aggregates from Recycling on the Properties of New Hardened Concrete. **Waste Management**, v. 16, n. 3, p. 113-117, 1996.

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

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos**. 1999. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999 BANTHIA, N.; CHAN, C. Use of recycled aggregate in plain and fiber-reinforced shotcrete. **Concrete International**, v. 22, n. 06, p. 41-45, 2000.

BODI , J. **Experiência Brasileira com Entulho Reciclado na Pavimentação**. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA A PROTEÇÃO AMBIENTAL, 29., São Paulo, 1997. Anais...São Paulo: Núcleo de Desenvolvimento de Pesquisas POLI /UPE, 1997. p. 56-63.

BRASIL, Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/Home/Extensao/ProjetoColetaSeletiva52/politica_residuos_solidos.pdf> Acesso em 12 de novembro 2016.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>> Acesso em 11 de novembro de 2016.

BUTTLER, A. M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto: influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. 2003. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

- CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra; MOREIRA, Kelvya Maria de Vasconcelos. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Fortaleza, CE: SINDUSCON, 2011.
- CARNEIRO, A. P.; BRUM, A. C.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção**. Projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. 312 p.
- CINCOTTO, M.A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. Construção**. São Paulo, Pini. n.1855, p.27-30, ago., 1983.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resoluções do Conama: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e janeiro de 2012 – 2. ed. / Conselho Nacional do Meio Ambiente. – Brasília: Conama, 2012.1126p.
- COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão**. 3. ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 3 v, v. 2, 219 p. 1997b.
- DE PAUW, P.; THOMAS, P.; VYNCKE, J. Shrinkage and creep of concrete with recycled materials as coarse aggregates. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). *Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate*. London: Thomas Telford Pub., 1998b. p. 213-225.
- DÉSIR, J. M. **Objeto de aprendizagem: Componentes de Alvenaria Estrutural**. 2012. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Objeto de Aprendizagem). Porto Alegre, 2012.
- DIAS, G. F. **Educação ambiental: Princípios e práticas**. São Paulo, Ed. Gaia, 2010.
- FERNANDES, I. D. **Blocos & Paver - Produção e Controle de Qualidade**. 3 Ed. – 182 p. Jaraguá do Sul, 2012.
- FERREIRA JUNIOR, S. **Peças de concreto para pavimentação**. 25º Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo, Outubro, 2000, p. 837- 849.
- FONSECA SILVA, E.; LIPARIZI, F. B; VASCONCELOS, A. R. **Estudo de viabilidade sobre a substituição de agregados naturais por agregados provenientes da reciclagem de entulho de concreto**. In: IV SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL - MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, IBRACON, 2001. p. 225-238.
- FRASSON, A. F. J. **Metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2000. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- FURNAS, Equipe de. Centro Tecnológico de Engenharia Civil. Laboratório de Concreto. **Apostila destinada ao treinamento para estágio de estudantes de engenharia na área de tecnologia de concreto**. Goiânia: 2004. 80 p.

- FURNAS, Equipe de. Laboratório de Concreto. **Concretos massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades**. São Paulo: Walton Pacelli de Andrade/Pini, 1997.
- GEYER, A. L. B. **Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários como adição ao concreto**. 2001. 216 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- GOMES.A.R. **Sistemas Construtivos**. Disponível em < www.fkct.com.br/blocos-de-concreto-vedacao. Acesso em 15 de dezembro de 2016.
- GUNTHER, V.M.R. **Minimização de resíduos e educação ambiental**. In: SEMINÁRIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7. Curitiba, 2000.
- HAMASSAKI, L. T.; SBRIGHI NETO, C.; FLORINDO, M. C. Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1997. 170 p. p. 107–115.
- HANSEN, T.; BOEGH, E. Elasticity and drying shrinkage of recycled-aggregate concrete. **ACI Journal**, v. 82, n. 5, p. 648-652, 1985.
- HANSEN, T.C. **Recycled of demolished concrete and masonry**. Chapman & Hall, London, 1992. 316 p. Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1-160. (RILEM TC Report 6).
- HENDRIKS, C. F.; PIETERSEN, H. S. Concrete: durable, but also sustainable? **Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate**. London: Thomas Telford Pub., 1998. p. 1-18.
- HOLANDA JR, O. G. Blocos de concreto para alvenaria estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 42., 2000, Fortaleza. **Anais...** [CD ROM]. São Paulo: IBRACON, 2000. 16 p.
- JENKINS, R.; SNYDER, R. L. **Introduction to X-Ray Powder Diffractometry**. New York: John Wiley & sons, Inc. 1996. 403 p. (Chemical Analysis, v.138).
- JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 120 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- KALIL, Sílvia. **Alvenaria Estrutural**. Porto Alegre, 2007. 86p. Apostila de estruturas mistas – PUCRS.
- KAPLAN, I. **Física Nuclear**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978. 727 p.
- KARPINSKI, L. A.; GUIMARÃES, J. C. B; PANDOLFO, A.; PANDOLFO, L. M.; REINEHER, R.; KUREK, J. **Gestão Diferenciada de Resíduos da Construção Civil – Uma abordagem Ambiental**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: Edipucrs, 2009. 163p.

- KIBERT, C. J.; CHINI, A. R. Deconstrucion as al essential componente of sustainable construction. In: KIBERT, C. J.; CHINI, A. R. Deconstrucion and material reuse: technology, economy and policy. Florida: CIB, 2000. P.6-13.
- KIKUCHI, M.; DOSHO, Y.; NARIKAWA, M.; MIURA, T.. Application of Recycled Concrete Aggregate for Structural Concrete. Part 1 – Experimental Study on the Quality of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM: “SUSTAINABLE CONSTRUCTION: USE OF RECYCLED CONCRETE AGGREGATE”. **Proceedings...** London: Thomas Telford, p. 55-68, 1998.
- LASSO, Paulo Renato Orlandi. **Avaliação da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição reciclados (RCD-R) como corretivos de acidez e condicionadores de solo.** Tese (Doutor em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2011.
- 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.** 1998. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- LATTERZA, L. M.; MACHADO Jr., E. F. Aplicação do concreto de agregado reciclado ($D_{m\acute{a}x} = 9,5$ mm) na fabricação de painéis leves de vedação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 41., 1999, Salvador. **Anais...** [CD-ROM]. São Paulo: IBRACON, 1999. 14p.
- LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** 2001. 194 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos.** 1997. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.
- LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** 1999. 222 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- LIPPIAT, B. C. **Building for Enviromental and Economic Sustainability (BEES 3.0).** Technical manual and User Guide. NISTIR 6919. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2002. 207 p.
- LOVATO, Patrícia Silveira. **Verificação dos Parâmetros de Controle de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição para utilização em concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

- MACHADO Jr., E. F.; AGNESINI, M. V. C. Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de microconcretos leves produzidos com argila expandida e com agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 41., 1999, Salvador. **Anais...** [CD-ROM]. São Paulo: IBRACON, 1999. 19p.
- MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. **Advances in concrete technology: pozzolanic and cementitious materials.** [S.l.]: Gordon and Breach Pub., 1996. v.1. 191 p.
- MANN, A. R. **Concrete construction.** 8. ed. Denver: EUA Department of Interior, 1975. 70 p.
- MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto.** 1993. 449 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- MEDEIROS, J. S.; DORNELES, V. P.; FRANCO, L. S. Blocos de concreto para alvenaria estrutural: avaliação de parâmetros básicos de construção. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. 9 p.
- MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: PINI, 1994.
- MENEZES, Mayko de Sousa; PONTES, Fernanda Veronesi Marinho; AFONSO, Júlio Carlos. **Panorama dos Resíduos de Construção e Demolição.** Departamento de Química Analítica, Instituto de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- MIRANDA, L. F. R. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- MOREL, A.; GALLIAS, J. L.; BAUCHARD, M.; MANA, F.; ROSSEAU, E. Practical guidelines for the use of recycled aggregates in concrete in France and Spain. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM, 3., 1993, Odense, Denmark. **Proceedings ...** Great Britain: E & FN Spon, 1993. p.71-82.
- NANNI, L. F.; RIBEIRO, J. L. **Planejamento e avaliação de experimentos.** Porto Alegre, UFRGS, 1987. (CE-17/87)
- NASCIMENTO NETO, Joel. **Investigação das solicitações de cisalhamento em edifícios de alvenaria estrutural submetidos a ações horizontais.** São Carlos, 1999. 127p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** São Paulo: Editora Pini, 1997. 738 p. ISBN 85-7266-068-2
- OLIVEIRA, A. L. Contribuição para dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação. 2004. 271p. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civi,

Departamento de Estruturas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

- OLIVEIRA, D. M.. **Desenvolvimento de ferramentas para apoio à gestão de resíduos de construção e demolição com uso de geoprocessamento: Caso Bauru-SP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2008.
- OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem.** 2002. 191 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.
- PATTO, André Luiz Duque Brunini. **Minimização de Impactos Ambientais com a Utilização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) como Agregados na Fabricação de Blocos de Concreto.** 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade de Taubaté, São Paulo, 2006.
- PENTALLA, V. Concrete and sustainable development. **ACI Materials Journal**, v. 94, n. 5, p. 409-416, 1997.
- PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de Cimento Portland.** 12. ed. São Paulo: Globo, 1998. 307p.
- PINTO, T. P. (1986). **Utilização de resíduos de construção: estudo do uso em argamassas.** 148p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.
- PINTO, T. P. Recycling in construction sites: environmental responsibility and cost reduction. In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. **Proceedings...** [CD-ROM]. São Paulo: CIB, 2000. 8p.
- PINTO, T. P.; GONZALES, J. **Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil: manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios.** Brasília: Caixa, 2005. v. 1, 196 p
- PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- POON, C. S.; KOU, S. C.; LAM, L. Use of recycled aggregates in molded concrete brick and blocks. **Construction and Building Materials**, v. 16, p. 281-289, 2002.
- REDDY, B. V.; GUPTA, A., Influence of sand grading on the characteristics of mortars and soil-cement block masonry. **Construction and Building Materials**, 22(8),614-620p. Florida, 2008.
- RIBEIRO, J. S. **Avaliação do desempenho de blocos de concreto para Alvenaria com e sem função estrutural produzidos com resíduos de concreto compactado com rolo.** Dissertação do curso de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de Goiás. Anápolis, 2005.

- SABBATINI, F. H. Alvenaria estrutural: materiais, execução da estrutura e controle tecnológico. Brasília, Caixa Econômica Federal, 2002. Disponível em: <http://downloads.caixa.gov.br/arquivos/inovacoestecnologicas/manualvest/alvenaria_estrutural.pdf>. Acesso em 24 de novembro de 2016.
- SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria sílico-calcária**. 1984. 298 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.
- SACHS, A. **Demolição Reciclada**. Revista Técnica, Edição 189, p. 28-32, dezembro. 2012.
- SALSA, C. **Geração de resíduos de Construção Civil**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em <<http://www.pensamentoverde.com.br>>. Acesso em 30 de janeiro de 2017.
- SALVADOR FILHO, J. A. A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. 2007. 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- SANTOS, Eder Carlos Guedes dos. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estrutura de solo reforçado**. Dissertação (Mestre em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.
- SBRRIGUI NETO, C.. **A importância dos conceitos tecnológicos na seleção de agregados para argamassas e concretos**. ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. Revista Areia e Brita nº12. dez 2000.
- SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A.; CARDOSO, A. COBRAC 2004. **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário UFSC**. Florianópolis, Outubro, 2014.
- SILVA, A. L. da. **Caracterização mineralógica por difração de raios x e determinação de terras raras por ICP-MS de rochas da região sul da Bahia**. 2013. Dissertação (mestrado) -Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia viii, 100 f., enc.
- SILVA, I. J. **Contribuição ao estudo dos concretos de elevado desempenho: propriedades mecânicas, durabilidade e microestrutura**. 2004. 279 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- SILVA, S. A. **Avaliação dos processos de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos**. Revista da Engenharia Sanitária. v. 16 (1), p. 82-103, 1977.
- SINAPROCIM. **Regras específicas para qualificação ou certificação de blocos de concreto**. São Paulo: QUALIHAB/SINPROCIM/SINAPROCIM/CDHU, v. 5, 1999.
- SJÖSTRÖM, C. **Durability of Building Materials and Components**. In: CIB Symposium on Construction and Environment: theory into practice. 23-24 de novembro de 2000. São Paulo, 2000.
- SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto - Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. 2001. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade

de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2001

TANGO, C. E. S. **Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade.** v.1. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 1994.

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

ULRICI, A.; SERRANTI, S.; FERRARI, C.; CESARE, D.; FOCA, G.; BONIFAZI, G. Efficient chemometric strategies for PET-PLA discrimination in recycling plants using hyperspectral imaging. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2013, v. 122, p. 31-39.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto.** 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

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

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