



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

CÍNTIA RAFAELA DE MELO QUEIROZ

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO
INCORPORADO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO –
RCD**

PAU DOS FERROS – RN

2018

CÍNTIA RAFAELA DE MELO QUEIROZ

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO
INCORPORADO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO –
RCD**

Trabalho Final de Graduação apresentado
ao Conselho do Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal Rural do
Semi-Árido – UFERSA, como requisito
parcial para a obtenção do título de
Graduado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Cláwsio Rogério
Cruz de Sousa – UFERSA.

Coorientador: Prof. Bel. Jennef Carlos
Tavares – UFERSA.

PAU DOS FERROS – RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Q3a QUEIROZ, CINTIA RAFAELA.
 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO
 CONCRETO INCORPORADO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
 DEMOLIÇÃO ? RCD / CINTIA RAFAELA QUEIROZ. -
 2018.
 42 f. : il.

 Orientadora: Cláwsio Rogério Cruz de Sousa.
 Coorientador: Jennef Carlos Tavares.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
 2018.

 1. Resíduo de construção e demolição. 2. concreto.
 3. sustentabilidade. I. Cruz de Sousa, Cláwsio
 Rogério, orient. II. Tavares, Jennef Carlos, co-
 orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

CÍNTIA RAFAELA DE MELO QUEIROZ

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO
INCORPORADO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO –
RCD**

Trabalho Final de Graduação apresentado
ao Conselho do Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal Rural do
Semi-Árido – UFERSA, como requisito
parcial para a obtenção do título de
Graduado em Engenharia Civil.

Pau dos Ferros, 17 de Setembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Cláudio Rogério Cruz de Sousa
Profº Dr. Cláudio Rogério Cruz de Sousa (UFERSA)
(Presidente da banca - Orientador)

Jennef Carlos Tavares
Profº Jennef Tavares (UFERSA)
(Primeiro membro – Coorientador)

José Flávio Timóteo Júnior
Profº Dr. José Flávio Timóteo Júnior (UFERSA)
(Segundo membro)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força para não desistir nos momentos de maiores dificuldades durante toda a minha graduação.

Gostaria de agradecer imensamente à minha família, por ter cuidado da minha educação com tanta dedicação e amor, sempre me incentivando a buscar realizar os meus sonhos e contribuindo para que eles se tornassem possíveis.

Ao meu namorado, Vinícius Simas, que compreendeu os momentos em que estive ausente para dedicar-me aos estudos, que sempre buscou estar presente me ajudando em vários aspectos sem nunca medir esforços e me proporcionando momentos únicos e felizes.

Aos professores Cláwsio e Jennef pela disponibilidade, paciência, orientação e pelas palavras de incentivo que tornaram possível a realização deste trabalho.

Aos meus amigos, por estarem ao meu lado em todos os momentos que precisei, dividindo comigo as alegrias e angústias, sempre com palavras e gestos de incentivo e nunca me negaram apoio durante toda a minha jornada acadêmica.

RESUMO

A cadeia da construção civil é uma das atividades humanas que mais consome materiais e que possuem uma alta produção de resíduos. Nesse sentido, diante da crise ambiental vivenciada atualmente, e da escassez de recursos naturais, a utilização de resíduos de construção civil e demolição (RCD) na composição do concreto, o material mais consumido do setor, se mostra como uma alternativa para o desenvolvimento sustentável. Logo, essa pesquisa teve como objetivo de estudar a viabilidade de aplicação de resíduos de construção e demolição na composição do concreto sem função estrutural. Para tanto, o trabalho caracterizou-se como um estudo exploratório, foi desenvolvido o referencial teórico, que embasou a discussão dos resultados encontrados, e no intuito de analisar as propriedades do concreto com o RCD, realizou-se por meio experimental, com abordagem de dados quantitativa e qualitativa, no estado fresco e no endurecido, foram executados os ensaios de: abatimento de cone, resistência à compressão, absorção de água, índice de vazios e massa específica. A partir de então, pode-se notar que a aplicação do RCD possibilitou um melhoramento na resistência a compressão, de 100% para a taxa de substituição de 25% de agregado natural por RCD e 145% para 50% de RCD. Para as outras propriedades os resultados foram satisfatórios. Dessa maneira, se mostrou viável a aplicação de RCD para a elaboração de concreto sem função estrutural.

Palavras-chave: Resíduo de Construção e Demolição; Concreto; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The civil civilian chain is one of the human activities that consumes the most raw materials and a high production of waste. This is a process of environmental survival and scarcity of natural resources, the use of civil construction and demolition (RCD) resources in the composition of concrete, the most consumed material in the sector, is shown as an alternative to sustainable development. Therefore, a research had as objective to study a viability of wood residues application in the construction and demolition in the composition of the concrete. To do so, a character search was characterized as an exploratory study, the theoretical framework was developed, based on a collection of results, and was not considered as a property of concrete with RCD, produced by means of experimental, with A approach of quantitative and qualitative data, was not developed and was not lasting, was carried out from tests of tests: cone reduction, compressive strength, water absorption, voids index and mass. From then on, the application of the RCD of 25% of natural aggregate per RCD and of 145% to 50% of RCD can be recognized. For the other properties the results were satisfactory. In this way, an RCD application is feasible for the elaboration of a structural project.

Keywords: Construction and Demolition Waste; Concrete; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Etapas da geração de RCD.....	17
Figura 02: Procedimentos metodológicos	23
Figura 03: Amostra de RCD.....	24
Figura 04: Equipamento de abrasão Los Angeles.	25
Figura 05: Peneira de 4,74 mm.....	25
Figura 06: Areia, CP IV-32 RS e brita 1.	26
Figura 07: Corpos de prova.	27
Figura 08: Máquina de ensaio de compressão.....	28
Figura 09: Ensaio de compressão.	29
Figura 10: Estufa.	30
Figura 11: Slump test.....	32
Figura 12: Ensaio de abatimento.	33
Figura 13: Ensaio de resistência à compressão (28 dias).	34
Figura 14: Absorção de água, índice de vazios, massa específica da amostra seca.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Classificação do RCD – Resolução 307 do CONAMA (2002).....	16
Tabela 02: Destinação do RCD – Resolução 307 do CONAMA (2002)	19
Tabela 03: Utilização de RCD para a produção do concreto.	20
Tabela 04: Caracterização das amostras.	27
Tabela 05: Ensaio de abatimento.....	32
Tabela 06: Trabalhabilidade e abatimento de cone.	33
Tabela 07: Ensaio de resistência à compressão (28 dias).....	34
Tabela 08: Massas das amostras.....	36
Tabela 09: Absorção de água, índice de vazios, massa específica da amostra seca.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Absorção de água

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON - Associação Brasileira para a Reciclagem da Construção Civil e Demolição

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CIB - Conselho Internacional da Construção

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPs – Corpos de Prova

FIEB - Federação das Indústrias do Estado da Bahia

g – gramas

g/cm³ - gramas por centímetros cúbicos

I_v – Índice de vazios

Kg/cm³ - quilogramas por centímetros cúbicos

kN/mm² - quilonewton por milímetros quadrados

MMA - Ministério do Meio Ambiente

mm² - milímetros quadrados

Mpa – Megapascal

m_s é a massa da amostra seca em estufa

m_{sat} Massa da amostra saturada em água após imersão em fervura

N – Newton

NBR – Norma Brasileira Registrada

NM – Norma Mercosul

PIB - Produto Interno Bruto

RCD – Resíduo de Construção e Demolição

RSCD - Resíduos sólidos de construção e demolição

ρ_s - massa específica da amostra seca

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	RESÍDUOS CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	15
2.2	GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE RCD.....	17
2.3	APLICAÇÃO DO RCD NO CONCRETO	20
3	METODOLOGIA	23
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA E MATERIAL UTILIZADO	23
3.2	PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	26
3.3	DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DE CONE	28
3.4	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	28
3.4	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DE CONE	32
4.2	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	34
4.3	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da construção civil possui grande representatividade econômica no Brasil, em 2016 chegou a representar 7,3% do PIB (Produto Interno Bruto) do país (GONÇALVES, 2017). Contudo, no ano de 2017 passou por uma redução de 5%, segundo o banco de dados CBIC (2018), em reflexo da crise macroeconômica e o cenário de incertezas políticas vivenciado no país. Apesar dessa redução, o setor mantém sua representatividade econômica pois agrega cerca 8,48% do pessoal ocupado no país, empregando 8.639.884 de pessoas (CBIC, 2015). Além disso, a indústria da construção civil tem uma participação de cerca de 5,2% no Valor Adicionado Bruto (CBIC, 2017).

Dessa forma, se torna evidente a importância da na economia, visto que ele se desenvolve de maneira análoga ao crescimento urbano e rural dos municípios. Assim, as atividades inerentes à construção civil também provocam impactos negativos ambientais, pois de acordo com o Portal do Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Conselho Internacional da Construção – CIB verificou-se que a indústria da construção civil é uma das práticas humanas que mais consomem materiais, bem como é responsável por gerar mais de 50% dos resíduos sólidos.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2016), os municípios brasileiros coletaram cerca de 45,1 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição – RCD em 2016, que configura uma diminuição de 0,08% em relação a 2015. Esse valor representa um índice de 0,6 kg/hab/dia.

Na região nordeste, foram coletados 4.720 t/dia, com um índice de 0,428 kg/hab/dia, ficando à frente apenas da região norte, o que reflete um menor dinâmica da construção civil nessas áreas quando comparadas com as demais regiões (sudeste, sul e centro-oeste). A ABRELPE alerta ainda que esses valores correspondem apenas aos RCD coletados ou lançados em logradouros públicos, o que implica em lançamentos maiores de resíduos.

O acelerado processo de urbanização das cidades brasileiras associado a uma carência de planejamento e infraestrutura contribui tanto para o aumento dos resíduos

sólidos originados das construções, reformas, ampliações, demolições, entre outros processos, quanto para a sua destinação incorreta (NAGALI, 2014).

A Associação Brasileira para a Reciclagem da Construção Civil e Demolição – ABRECON (2015) a disposição inadequada desse material contribui para a ocorrência de enchentes, danificação de infraestrutura, em virtude do entupimento de galerias e assoreamento de canais, bem como a proliferação de vetores, poluição e do aumento desnecessário de gastos na administração pública. A ABRECON ressalta ainda que é comum nos municípios brasileiros, o descarte desse material em aterros sanitários, o que implica em um desperdício duplo de dinheiro, visto que 70% do resíduo total da construção civil poderia ser reutilizado ou reciclado.

Nesse sentido, mediante a crise ambiental contemporânea é evidente, o aumento da escassez de recursos naturais o que torna mais urgente a necessidade iniciativas sustentáveis, capazes de aliar a preservação do meio ambiente, o desenvolvimento econômico e a justiça social. Acerca disso, Brasileiro e Matos (2015) observam que frente a grandiosidade da cadeia produtiva da construção civil, não é possível que se alcance um desenvolvimento sustentável sem que essa transformação também acontecer nesse setor.

Assim, a Política dos 5 R, isto é, reduzir, repensar, reaproveitar, reciclar e recusar consumir produtos que gerem impactos socioambientais significativos configura-se como importante alternativa para minimizar os impactos negativos ambientais dessas atividades e diminuir a quantidade de resíduos a serem descartados. No Brasil, um marco regulatório a ser destacado é a Resolução 307 do CONAMA de 2002, Conselho Nacional do Meio Ambiente, pois a partir de então os geradores se tornaram responsáveis pelos resíduos gerados.

Os resíduos de construção e demolição podem ser utilizados em diferentes aplicações como é o caso de aterros, pavimentação, produção de concreto e seus componentes, melhoramento de solos com estacas de compactação, argamassas, camadas drenantes, gabião, estruturas de solos reforçados e reabilitação de pavimentos (SAMPAIO, 2013). Diante disso, ao considerar que o concreto é o material mais utilizados na construção civil em geral (LIMA, et. al., 2014), a aplicação de RCD enquanto aglomerante em sua composição é imprescindível para a diminuição do descarte de resíduos e retirada de recursos naturais. No entanto é preciso estudar o modo como

essa utilização pode acontecer de modo que se garantas as propriedades do concreto, como a trabalhabilidade e a resistência a compressão.

Nesse contexto, a pesquisa tem como objetivo principal estudar a viabilidade de aplicação de resíduos de construção e demolição na composição do concreto sem função estrutural. Enquanto objetivos específicos, tem-se: caracterizar amostras de resíduos coletados em uma obra localizada na cidade de Pau dos Ferros/RN por meio de análise visual; avaliar a nova composição do concreto tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, com idade de 28 dias.

Assim, essa pesquisa se estrutura em 5 seções. A primeira corresponde a metodologia, onde será exposto a caracterização da pesquisa, métodos e ensaios realizados enquanto instrumentos metodológicos. Na segunda seção será apresentado a referencial teórico em que serão evidenciados os aspectos conceituais acerca dos resíduos de construção e demolição e do concreto, legislação, parâmetros e aplicações. Em seguida, tem-se a seção dos resultados encontrados a partir de ensaios realizados bem como a análise quanto a viabilidade de aplicação do RCD na composição do concreto. Ao final, são explanadas as considerações finais, nas quais se tem um arremate final.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No intuito de realizar um levantamento teórico metodológico que respalde as discussões elaboradas com base nos resultados encontrados nos ensaios de aplicação dos materiais padrão e com adição de RCD, essa seção apresenta os conceitos bases ligados aos resíduos de construção e demolição, associando-os com suas aplicações no concreto.

2.1 RESÍDUOS CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

A NBR 10004:2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, os resíduos sólidos e semissólidos são aqueles provenientes de atividades industriais, domésticas, hospitalar, comercial, agrícola e de varrição. Além disso, incluem-se nessa classificação os lodos originados de sistemas de tratamentos de águas e até alguns líquidos que são inviáveis de serem lançados na rede pública de esgotos ou corpos técnicos, ou que necessitem de soluções inviáveis técnica e economicamente diante da melhor tecnologia disponível.

Segundo NBR 10004:2004 os resíduos de construção e demolição podem ser considerados inertes, pois possuem componentes minerais não poluentes e por serem praticamente inertes quimicamente. Embora nem todo RCD seja compreendido como um resíduo sólido, como é o caso dos esgotos, efluentes líquidos e gasosos, é muito comum adotar práticas de gerenciamento semelhante aquelas adotadas para os resíduos sólidos (NAGALI, 2014).

No tocante aos resíduos de construção, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) os define como sendo aqueles gerados nas construções, reparos, reformas e demolições de obras, bem como aqueles resultantes de preparação e escavação de terrenos (BRASIL, 2012). Os resíduos sólidos de construção e demolição (RSCD) são definidos pela Resolução 307 do CONAMA como sendo:

São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha (CONAMA, 2002, p.1).

Segundo informações disponibilizadas no Portal da ABRECON, entende-se por entulho o conjunto de fragmentos ou restos de tijolo, concreto, argamassa, aço, madeira, e entre outros materiais que são oriundos de um desperdício na construção, reforma e/ou demolição de estruturas.

A associação observa ainda que o entulho de construção é formado por restos de fragmentos de materiais enquanto que os de demolição é constituído apenas por fragmentos, o que lhes garante um maior potencial qualitativo. Dessa maneira, o entulho pode ser um dos grandes vilões do ambiente visto que quando acumulado é vetor de doenças, insetos e roedores, como também pode ser visto como uma oportunidade de emprego, negócio e preservação ambiental, à medida que se considera sua reciclagem e reutilização.

Contudo, Nagali (2014) alerta sobre a utilização do termo calça em textos documentais, pois ele é via de regra, um conglomerado heterogêneo de materiais, devido à ausência de gerenciamento. Dessa maneira, o autor evidência que nem sempre a calça pode ser reutilizada ou reciclada diretamente, pois é possível conter materiais indesejáveis, como plásticos, contaminantes ou metais que oferecem riscos aos equipamentos mecânicos e à qualidade final do material, podendo ser caracterizada como rejeito. A resolução 307 – CONAMA (2002), estabelece 4 tipos de RCD, conforme mostra a Tabela 01, a seguir:

Tabela 01: Classificação do RCD – Resolução 307 do CONAMA (2002)

Classe	Definição
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução nº 469/2015).
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/11).
D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/04).

Fonte: CONAMA (2002, p.3).

2.2 GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE RCD

A resolução 307 do CONAMA, define que geradores do RCD podem ser pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, que são responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem tais resíduos. Os altos índices de geração de resíduos são potencializados pelo fato de que a segregação, acondicionamento e disposição final dos RCD se dá de maneira inadequada, bem como desintegrada das demais atividades realizadas em grande parte dos canteiros de obras, o que aumenta os desperdícios e interfere em questões ligadas à competitividade sustentável (FIEB, 2013).

Além disso, a geração de resíduos é acentuada porque as iniciativas de políticas públicas associadas ao gerenciamento dos RCD ainda acontecem de maneira pouco usuais ou até mesmo são desconhecidas para muitas empresas do setor da construção civil, que por sua vez, não desenvolvem a gestão dos resíduos em canteiros de obras ou até mesmo adoção de práticas para diminuir a geração dos resíduos (CALIXTO, 2017).

De maneira geral, os RCD são provenientes de três etapas distintas, conforme evidencia a Figura 1:

Figura 01: Etapas da geração de RCD



Fonte: Calixto (2017), elaboração gráfica da autora.

A construção refere-se ao momento de criação de uma determinada estrutura; a manutenção inclui a produção de diversos materiais de construção e utilização desses materiais nas obras, enquanto que na demolição, estão sendo desfeitas as obras edificadas. Contudo, Calixto (2017) ressalta ainda a possibilidade de geração de resíduos de construção e demolição por meio de desastre naturais, como as enchentes, furacões, tsunamis e terremotos. Dessa forma, informações disponibilizadas no Portal da ABRECON apontam 3 grupos de resíduos que podem ser encontrados no RCD:

Grupo I - Materiais compostos de cimento, cal, areia e brita: concretos, argamassa, blocos de concreto;

Grupo II: materiais cerâmicas, como telhas, manilhas, tijolos e azulejos;

Grupo III: Materiais não-recicláveis: solo, gesso, metal, madeira, papel, plástico, matéria orgânica, vidro e isopor. Desses materiais, alguns são passíveis de serem selecionados e encaminhados para outros usos. Assim, embalagens de papel e papelão, madeira e mesmo vidro e metal podem ser recolhidos para reutilização ou reciclagem.

A variabilidade na composição do RCD também acontece em função de fatores como a região geográfica, da época do ano, o tipo de obra e a tecnologia empregada. Segundo Fernandez (2012), no Brasil, estima-se que, em média 65% do material que é descartado apresenta origem mineral, enquanto que 13% é proveniente da madeira, 8% dos plásticos e 14% são outros materiais. Sendo que a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE.

Assim, para que o RCD seja reutilizado ou reciclado faz-se necessário a análise de sua composição química elementar, para a correta aplicação. De acordo com o Artigo 4 da Resolução 307 do CONAMA (2002), os devem ter como objetivo principal a não geração de resíduos, e secundariamente a diminuição, reutilização, reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A deposição inadequada dos RCD causa inúmeros impactos ambientais, econômicos e sociais. De acordo com Amadei, et. al. (2011), dentro do aspecto ambiental pode-se destacar a ocupação de áreas naturais em baixadas, terrenos desocupados e fundos de vale, a obstrução de rios e córregos responsáveis pela drenagem superficial das águas.

Amadei, et. al. (2011), ressaltam ainda que a presença de RCD em locais inadequados contribui para um ambiente favorável à criação de vetores que causam um efeito deletério ao saneamento local; com relação aos visuais, há um comprometimento da paisagem. Com relação aos prejuízos econômicos, estão justamente os altos custos para a realização da gestão corretiva dos resíduos de construção e demolição. Mourão (2011) ressalta ainda que existe uma classe social de gestores e de coletores que são responsáveis pelo RCD, porém, comumente, não possuem o conhecimento técnico necessário para a preservação sanitária e ambiental.

Dessa forma, o Artigo 4 da Resolução 307 do CONAMA (2002) destaca que os RCD não podem ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, em área de “bota fora”, em encosta, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei. Assim, o Artigo 10 da Resolução 307 do CONAMA (2002), elenca uma destinação adequada para classe de RCD, como evidencia a Tabela 02:

Tabela 02: Destinação do RCD – Resolução 307 do CONAMA (2002)

Classe	Destinação
A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros. (nova redação dada pela Resolução 448/12)
B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. (nova redação dada pela Resolução 448/12)

Fonte: CONAMA (2002)

Assim, existem diferentes aplicações nas quais os resíduos da construção e demolição podem ser utilizados, e um dos pontos que favorece essa prática é o fato de que a construção civil acontece em todos os lugares em diferentes níveis de complexidade e emprego de diversos materiais. Os RCDs podem se reinserir na cadeia produtiva por meio da reutilização, ou a partir da reciclagem. A reutilização se caracteriza pelo emprego do resíduo em uso análogo ao seu primeiro ciclo de produção, sem a necessidade de algum procedimento de beneficiamento; enquanto isso, a reciclagem na construção civil consiste em introduzir o resíduo no seu ciclo de produção em substituição total ou parcial de uma matéria prima (AMADEI, et. al., 2011).

São exemplos de aplicações do RCD reciclado: camadas de base e sub-base para pavimentação, coberturas primárias de vias, fabricação de argamassas de assentamento e revestimento, fabricação de concretos, fabricação de pré-moldados, camadas drenantes, entre outros (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Nesse estudo, está sendo analisada a aplicação do RCD na composição de concreto sem função estrutural, conforme será evidenciado na próxima seção.

2.3 APLICAÇÃO DO RCD NO CONCRETO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, ele é formado por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), e ar; assim como também podem conter adições e aditivos com o intuito de melhorar ou modificar as propriedades básicas (BASTOS, 2006). Dentre as suas propriedades no estado fresco vale destacar a trabalhabilidade, e no estado endurecido a resistência à compressão.

A trabalhabilidade do concreto é um conceito muito relativo, porém ela está ligada a facilidade de trabalhar com esse material mediante as diferentes condições da obra. Assim, os concretos devem ser coesos e viscosos e coesos de modo que se possibilite o seu transporte e lançamento sem a ocorrência de problemas como a segregação e exsudação (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

A resistência à compressão, enquanto propriedade mecânica do concreto, tem sido utilizada tradicionalmente como parâmetro principal de verificação da qualidade dos concretos destinados a obras correntes (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

Tomando como base tamanha importância do concreto para a construção civil, uma forma de diminuir os resíduos do setor é a aplicação do RCD como um agregado alternativo, em substituições totais ou parciais ao natural, o que origina a uma nova composição para o concreto. Nesse sentido, as pesquisas ligadas a essa temática têm sido amplamente difundidas com o intuito de contribuir para o alcance da sustentabilidade nas atividades da construção. A Tabela 03 reúne algumas pesquisas com utilização de RCD para a produção do concreto, publicadas nos últimos 4 anos:

Tabela 03: Utilização de RCD para a produção do concreto.

Autores/Ano	Objetivo Geral	Resultados
Fernandes, Amorim 2014	Avaliar a aplicação da reciclagem do concreto na construção civil diante das novas tendências de preservação ambiental e de ordem econômica	Os resultados encontrados são favoráveis em termos de viabilidade e economia, porém em alguns países ainda se encontram dificuldades em relação à gestão desses resíduos por ser algo relativamente recente
Wang, Zhau, Liu e Li 2014	Analisar as propriedades mecânicas e tensão-deformação do concreto reciclado agregado de isolamento térmico.	Quando os 70% do agregado virgem foi substituído por agregado graúdo reciclado, um concreto estrutural de classe de resistência C40 poderia ser produzido.
Yu, Shui 2014	Analisar a reutilização de materiais cimentícios	É possível produzir um material de construção pré-fabricado com um

		subproduto da indústria (cinza volante) e um material reciclado. A resistência à compressão do material de construção pré-fabricado produzido pode ser superior a 60 Mpa.
Motter, Miranda e Bernucci 2015	Avaliar a substituição da fração grossa natural agregada por agregado de concreto reciclado na produção de concreto por asfalto quente	Os resultados indicam que, apesar do concreto reciclado, apresentar maior absorção, maior abrasão e menor densidade que os agregados de brita, as misturas apresentaram resultados satisfatórios para uso como camada superficial de concreto asfáltico em estradas de baixo volume.
Silva, et. al. 2015	Analisar o comportamento do concreto seco (no estado fresco e endurecido) produzido com agregados de RCD (separados ou não por densidade), empregando-se esse método laboratorial de prensagem	A substituição total do agregado natural pelo reciclado obteve-se resistências à compressão comparáveis às dos concretos de referência
Moretti, et. al. 2016	Investigar as propriedades do concreto produzido com resíduos de construção e areia de bagaço de cana-de-açúcar	As amostras produzidas com o uso conjunto RCD e da cana de açúcar alcançaram 93% da resistência à compressão do concreto de referência (sem desperdício).
Léon, Porras, Castiblanco 2017	Comparar e avaliar a curva granulométrica de agregados naturais e reciclados.	As curvas granulométricas dos agregados foram obtidas para os limites estabelecidos pela norma NTC 176, o que determinou que o RCD não atende às especificações padrão do concreto; no entanto, seu uso como agregado para concreto não estrutural não é descartado, para manufatura modular sustentável.
Medeiros Junior, Balestra e Lima 2017	Utilizar agregados reciclados a partir de resíduos de construção para substituir os agregados naturais, a fim de melhorar a capacidade de suporte do solo mole, no que diz respeito à sua resistência à compressão.	O concreto com agregado reciclado do estágio estrutural apresentou resistências ainda maiores que o concreto com agregados naturais.
Neto, Sales, Sales 2018	Aplicar agregados produzidos por uma usina de reciclagem de concreto	Os concretos com substituição de agregados miúdos, obtiveram resultados satisfatórios de resistência à compressão, com acréscimo de 18% do concreto de referência, enquanto que os agregados graúdos, obtiveram uma redução de até 20,6%.
Zhang, Wang, Canção 2018	Desenvolver um concreto totalmente reciclado, nomeadamente concreto de enchimento, que é especialmente utilizado para suportar o aterro de trincheiras	O novo concreto de preenchimento proposto tem boa trabalhabilidade e propriedades mecânicas para o preenchimento de valas. Além disso, o consumo de cimento é baixo para 50 kg/m ³ , de maneira que atende aos requisitos econômicos e ambientais.

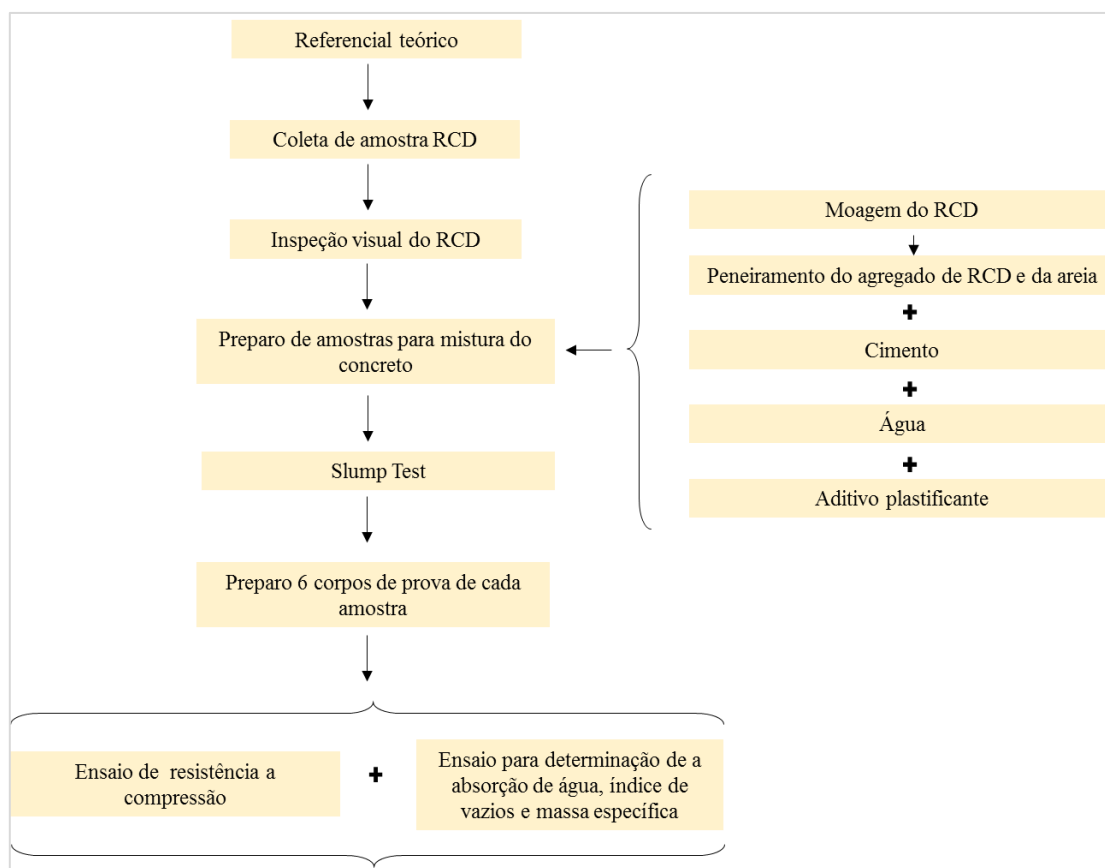
Fonte: Autoria própria, 2018.

Pode-se verificar que já existem pesquisas que mostram a viabilidade da aplicação de resíduos de construção e demolição como fonte alternativa de agregados em diferentes tipos de concretos, de modo a preservar ou até mesmo melhorar suas propriedades, quando comparadas com a referência, bem como em consonância com a viabilidade econômica.

3 METODOLOGIA

No intuito de atender ao objetivo traçado, essa pesquisa caracteriza-se como um estudo exploratório, realizado por meio experimental, com abordagem de dados quantitativa e qualitativa, no intuito de avaliar e caracterizar a trabalhabilidade, a resistência à compressão, a absorção de água, índice de vazios e massa específica, que são importantes propriedades do concreto. Os procedimentos metodológicos realizados foram executados ilustra o fluxograma da Figura 02:

Figura 02: Procedimentos metodológicos



Fonte: Autoria própria, 2018.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA E MATERIAL UTILIZADO

No intuito de analisar a aplicabilidade do RCD na composição do concreto não estrutural, foi coletada amostra de resíduo de construção civil em uma obra de residencial localizada na cidade de Pau dos Ferros/RN. Dessa maneira, o resíduo empregado pertence

a Classe A, de acordo com a Resolução 307 do CONAMA (2002). A partir de análise visual para descrição composição do RCD coletado, verificou-se que a maior parte continha fragmentos de alvenaria de tijolo cerâmico, argamassa endurecida e pedaços de concreto endurecido, conforme mostra a Figura 03.

Figura 03: Amostra de RCD.



Fonte: Autoria própria, 2018.

A NBR 15116:2004 (ABNT, 2004), Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos, determina que a composição granulométrica do RCD a ser utilizado como agregado em concretos sem função estrutural deve estar de acordo com a NBR 7211:2005, Agregados para concreto – Especificação (ABNT, 2005). Esta última norma ressalta a necessidade de uma variabilidade na composição granulométrica do concreto com a finalidade de permitir um melhor preenchimento de vazios e assim contribuir positivamente para suas propriedades.

A NBR 7211:2005 (ABNT, 2005) define como agregado miúdo, aquele no qual os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. E os agregados configuram-se como aqueles em que os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Desse modo, para utilização do RCD como agregado miúdo realizou-se a sua moagem no equipamento de abrasão Los Angeles, o qual foi programado para 1000 voltas. O equipamento é representado na Figura 04:

Figura 04: Equipamento de abrasão Los Angeles.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Ao serem moídos, obteve-se o agregado que foi passado pela peneira de 4,74 mm. Essa peneira também foi utilizada para a areia, como mostra a Figura 05:

Figura 05: Peneira de 4,74 mm.



Fonte: Autoria própria, 2018.

A composição do concreto a ser utilizado nos ensaios, fez-se o uso ainda de cimento CP IV-32 RS, água, areia e brita 1. O cimento tem a função de aglomerante, o CP IV-32 RS, mais especificamente é um cimento Portland pozolânico com alto calor de hidratação, alta resistência a ambientes agressivos, em especial a presença de sulfatos. Dessa maneira, é um cimento recomendado para aplicação em argamassas de

assentamento e revestimento, solo-cimento, concreto magro, concreto armado e concreto para pavimentos (CIMENTO.ORG, 2010).

A areia foi empregada como junto ao agregado de RCD como agregado miúdo. A brita 1, que possui dimensões de 4,8 a 9,5 mm exerceu a função de agregado graúdo. Além disso, utilizou-se aditivo plastificante. Segundo a NBR 11768: 2011 - Aditivos para Concreto de Cimento Portland requisitos (ABNT:2011), o aditivo plastificante permite diminuir a quantidade de água consumida em um concreto, de maneira que permaneça a consistência do concreto no estado fresco, ou até modificar a consistência do concreto mantendo a quantidade de água, bem como os dois efeitos simultaneamente. A Figura 06 mostra o cimento, areia e brita utilizados:

Figura 06: Areia, CP IV-32 RS e brita 1.



Fonte: Autoria própria, 2018.

3.2 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A execução dos ensaios de resistência à compressão no concreto endurecido e o de absorção e porosidade foram elaborados 18 corpos de prova (CPs) com auxílio de betoneira. A preparação dos corpos de prova se deu conforme as normas N BR NM 67:1998, NBR 5738 :2015 e NBR 5739 :2007, que estabelecem diretrizes para realização do *Slump Test*, Moldagem dos Corpos de Prova e Ensaios de compressão.

O traço adotado para a elaboração do concreto foi o mesmo que o empregado na obra onde se recolheu o RCD, o qual foi de 1:2:3. Os corpos de prova foram divididos em 3 amostras, com diferentes porcentagens de consumo de material para o traço tomado como referência em obra, como descreve a Tabela 04:

Tabela 04: Caracterização das amostras.

Amost.	Nº CPs	Cimento	Areia	Brita	Aditivo Plastificante	RCD	a/c
1	6	1	2	3	2% da quantidade de cimento ¹	-	0,5
2	6	1	75% da quantidade calculada para o traço	3	2% da quantidade de cimento	25% restante da quantidade de areia calculada para o traço	0,5
3	6	1	50% da quantidade calculada para o traço	3	2% da quantidade de cimento	50% restante da quantidade de areia calculada para o traço	0,5

Fonte: Autoria própria, 2018.

Dessa forma, para cada amostra foram retirados 3 corpos de prova para serem submetidos ao ensaio de concreto no estado endurecido de resistência à compressão e 3 corpos de prova para o ensaio de absorção e porosidade. A Figura 07 mostra os corpos de prova dentro e fora dos moldes.

Figura 07: Corpos de prova.



Fonte: Autoria própria, 2018.

¹ De acordo com a NBR 11768: 2011 - Aditivos para Concreto de Cimento Portland requisitos (ABNT:2011) o aditivo não deve ultrapassar a quantidade de 5% da massa do material cimentício contida no concreto.

3.3 DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DE CONE

Com o objetivo de verificar a trabalhabilidade dos diferentes tipos de amostras produzidas, realizou-se o ensaio de abatimento de cone, também conhecido como *Slump test*. Esse ensaio é normatizado pela NBR-NM 67:1998 - Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, (ABNT, 1998).

O procedimento da execução desse ensaio se dá pelo preenchimento do cone em três camadas, nas quais devem ser aplicados 25 golpes com a haste de socamento. Após ser desmoldado, é preciso medir o abatimento do concreto, verificando-se a diferença da altura entre o corpo de prova e o molde. A NM 67:1998 (ABNT, 1998) recomenda que em caso de desmoronamento que impeça a medição, deve-se desprezar o ensaio e realizado um novo procedimento com outra amostra. O *Slump test* foi executado para as amostras com 0% de RCD em relação a quantidade total de agregado miúdo, 25% de RCD e 50% de RCD.

3.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os corpos de prova foram submetidos ao processo de cura úmida ou saturada, até atingirem a idade do ensaio, que nesse caso foi de 28 dias, conforme recomenda a NBR 5739:1994, Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (ABNT, 1994). Para a efetuação do ensaio foi utilizado a máquina de ensaio de compressão, mostrada na Figura 08:

Figura 08: Máquina de ensaio de compressão.



Fonte: Autoria própria, 2018.

A realização do ensaio se deu com o posicionamento do corpo de prova no eixo que coincida com o da máquina, de maneira que a resultante das forças passe pelo centro do corpo de prova, conforme representa a Figura 09:

Figura 09: Ensaio de compressão.



Fonte: Autoria própria, 2018.

O ensaio teve duração de 5 min., estando, portanto, dentro do intervalo máximo estabelecido pela norma para essa idade, que foi ± 20 h ou 3,0%. A resistência à compressão deve ser obtida, dividindo-se a carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova. O resultado ser expresso com aproximação de 0,1 Mpa, de acordo com as recomendações da NBR 5739:1994 (ABNT, 1994).

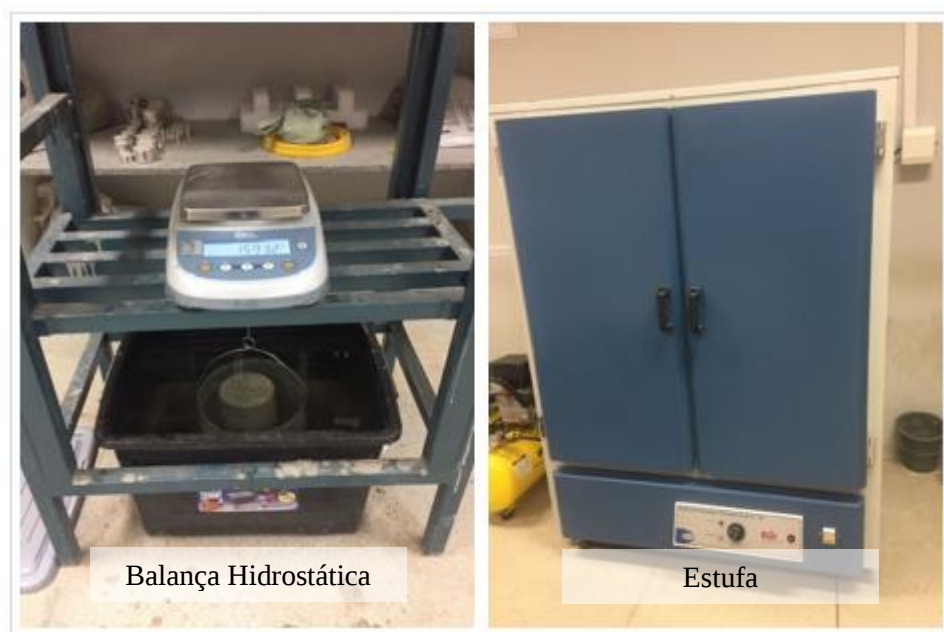
3.4 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

De acordo com a NBR 7680:2009 – Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica (ABNT, 2009), a absorção de água (A) por imersão é processo no qual a água penetra os poros permeáveis de um corpo sólido, o índice de vazios é a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra, a massa específica da amostra seca é a relação entre a massa do material saturado e o volume total da amostra; a massa específica da amostra saturada é a relação entre a massa do material saturado e o volume total da amostra, a massa

específica real é a relação entre a massa do material seco e o seu volume, excluindo os poros permeáveis.

A aparelhagem utilizada nesses ensaios foi a balança hidrostática, recipientes adequados para imersão e fervura de amostras e a estufa. A balança e estufa utilizadas estão mostradas na Figura 10:

Figura 10: Estufa.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Para a determinação de sua massa específica na condição seca, é preciso colocar a amostra na estufa e mantê-la à temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ por um período de 72 h, determinar e registrar a massa da amostra (m_s). Para a determinação de sua massa na condição de saturada e imersa em água deve-se imergir a amostra em água a uma temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e mantê-la durante 72h nessa condição. Em seguida, deve-se colocar a amostra dentro de um recipiente cheio de água, que deve ser levada progressivamente à ebulição, a qual deve acontecer em 15 a 30 min. A ebulição deve ser mantida por 5h, de maneira que se mantenha aproximadamente e constante o volume de água. Em seguida deve-se deixar a água esfriar até atingir uma temperatura de $(23 ^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C})$. A partir de então, foi possível determinar e registrar a massa com auxílio de balança hidrostática (m_i). Posteriormente, deve-se retirar a amostra e enxuga-la com pano úmido de modo a determinar e registrar sua massa (m_{sat}).

A absorção de água (A) pode ser calculada, em porcentagem de acordo com a Equação (1):

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Em que: m_{sat} é a massa da amostra saturada em água após imersão em fervura e m_s é a massa da amostra seca em estufa.

O índice de vazios (I_v) deve ser calculado, em porcentagem, pela Equação (2):

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (2)$$

Na qual, m_i é a massa da amostra saturada imersa em água após a fervura. A massa específica da amostra seca (ρ_s) é calculada pela Equação (3):

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (3)$$

Onde m_i é a massa da amostra saturada imersa em água após fervura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DE CONE

A partir do ensaio de abatimento de cone, obteve-se em todos um abatimento verdadeiro, isto é, um abatimento uniforme sem a ocorrência de cisalhamento ou desmoronamento (NEVILLE, 2013), conforme ilustra a Figura 13:

Figura 11: *Slump test*



Fonte: Autoria própria, 2018.

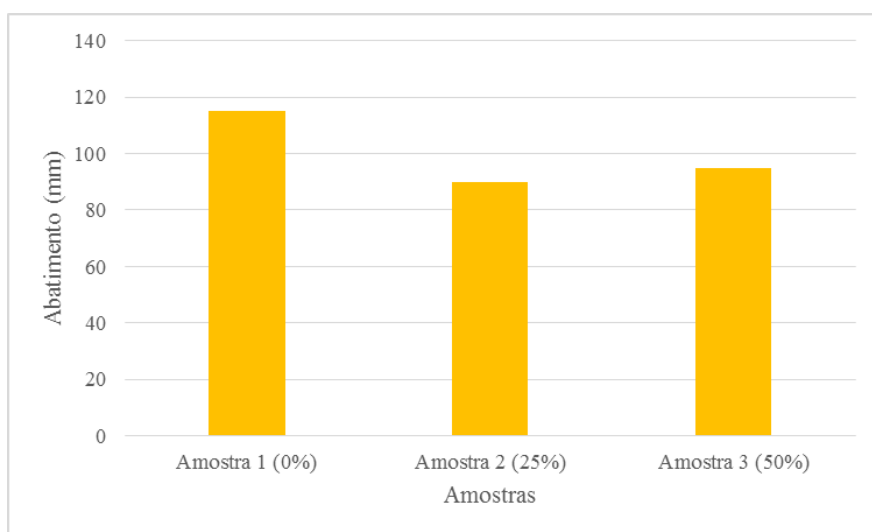
Logo, foram verificados os abatimentos mostrados na Tabela 05 e ilustrados no gráfico da Figura 12:

Tabela 05: Ensaio de abatimento

Amostra	Abatimento (mm)
Amostra 1 (0%)	115
Amostra 2 (25%)	90
Amostra 3 (50%)	95

Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 12: Ensaio de abatimento.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Neville (2013) faz uma relação entre trabalhabilidade, abatimento e o uso indicado conforme mostra a Tabela 06:

Tabela 06: Trabalhabilidade e abatimento de cone.

Grau de trabalhabilidade	Abatimento de tronco de cone (mm)
Muito baixo	0-25
Baixo	25-50
Médio	25-100
Alto	100-175

Fonte: Neville (2013), adaptado pelo autor.

Dessa maneira, correlacionando os dados da Tabela 05 e Figura 12, com a Tabela 06, pode-se notar que a amostra de concreto sem a presença de RCD obteve um alto grau de trabalhabilidade, contudo as amostras com presença de 25% e 50% de substituição apresentaram um grau médio de trabalhabilidade. Isso pode ser justificado por alguma deficiência granulométrica na mistura da areia com o agregado de RCD. Zhang, Wang e Canção (2018) também verificaram uma boa trabalhabilidade em concretos produzidos com resíduos de construção civil.

Vale ressaltar, que esses ensaios apresentaram algumas limitações, como a possibilidade de diferentes resultados para amostras de um mesmo traço, um abatimento muito alto ou muito baixo dá um aviso imediato que possibilita que o operador corrija de imediato a situação (NEVILLE, 2013).

4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

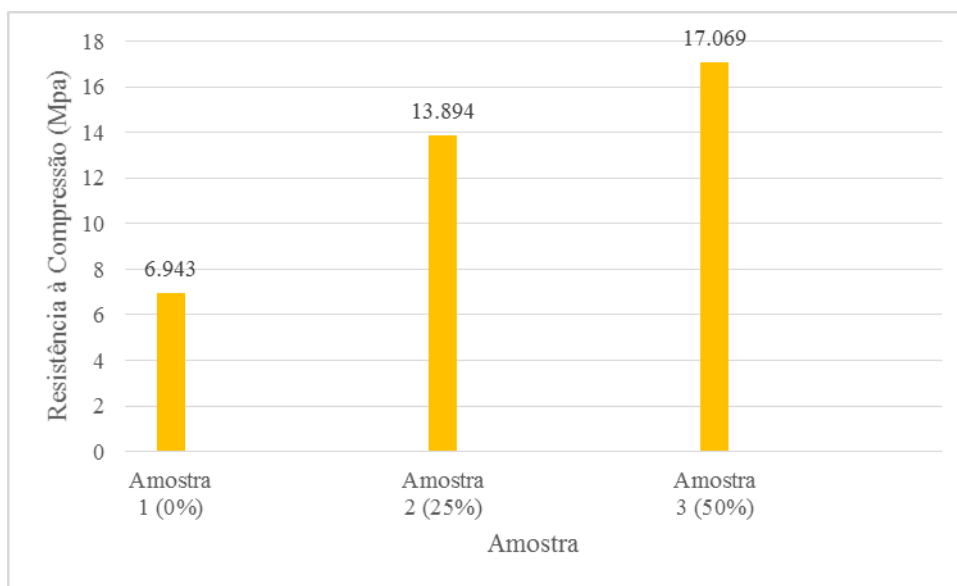
Para a determinação da resistência à compressão, considerando o concreto de 28 dias, foram ensaiados 3 corpos de prova para cada amostra, totalizando 9 corpos de prova nesse ensaio. Os resultados desse ensaio estão elencados na Tabela 07, e no gráfico da Figura 13.

Tabela 07: Ensaio de resistência à compressão (28 dias).

Amostra		Força (N)	Área da seção transversal do CP (mm ²)	Resistência (MPa)	Resistência Média (MPa)
Amostra 1 (0%)	1	57800	7850	7.360	6.943
	2	52340	7850	6.668	
	3	54500	7850	6.943	
Amostra 2 (25%)	1	104490	7850	13.310	13.894
	2	109830	7850	13.991	
	3	109070	7850	13.894	
Amostra 3 (50%)	1	133990	7850	17.069	17.069
	2	143170	7850	18.238	
	3	128870	7850	16.417	

Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 13: Ensaio de resistência à compressão (28 dias).



Fonte: Autoria própria, 2018.

A partir dos resultados, foi possível notar que houve um aumento da resistência junto com o aumento de RCD na composição do concreto, embora tenham sido valores

relativamente baixos. Muitos fatores podem contribuir para a determinação da resistência a compressão, como foi o caso do controle tecnológico no preparo da mistura, os materiais utilizados e o processo de cura.

A substituição de 25% da areia por RCD resultou um acréscimo de 100% na resistência, quando comparado com a Amostra 1, enquanto que a substituição de 50% da areia por RCD gerou um crescimento de 145% na resistência. O aumento da resistência também foi encontrado em trabalhos que tinham o objetivo de utilizar RCD para substituir o agregado natural (SILVA; ET. AL., 2015; YU; SHUI, 2014; WANG; ZHAU; LIU; LI, 2014).

No trabalho de Neto; Sales e Sales (2018), que teve como objetivo de aplicar agregados produzidos por uma usina de reciclagem de concreto, foi verificado um acréscimo de 18% na substituição de RCD nos agregados miúdos. Dessa maneira, a utilização do RCD com relação à resistência à compressão é viável e apresenta-se como uma boa alternativa, aliando sustentabilidade e qualidade no produto final.

Além disso, para o traço utilizado foi considerado a aplicação em concreto sem função estrutural, como foi no caso da produção de blocos de concreto, está de acordo com o recomendado pela NBR 6136:2016 - Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural – Requisitos (ABNT, 2016), a resistência mínima característica do concreto sem função estrutural é de 3 MPa.

4.3 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

Realizando-se os ensaios, obteve-se a massa seca, a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura e a massa da amostra saturada imersa em água após fervura, os valores encontrados estão elencados na Tabela 08:

Tabela 08: Massas das amostras.

Amostras		Ms (g)	Média (g)	Msat (g)	Média (g)	Mi (g)	Média (g)
Amostra 1 (0%)	1	2972.8	2978.83	3218.3	3219.80	1570.2	1582.10
	2	2965.4		3207.4		1582.9	
	3	2998.3		3233.7		1593.2	
Amostra 2 (25%)	1	3015	3026.70	3286.5	3300.167	1650.7	1659.03
	2	3044.3		3316.7		1674.8	
	3	3020.8		3297.3		1651.6	
Amostra 3 (50%)	1	2984.8	2966.00	3345	3324.03	1648.9	1635.67
	2	2956.3		3318.8		1634.1	
	3	2956.9		3308.3		1624	

Fonte: Autoria própria, 2018.

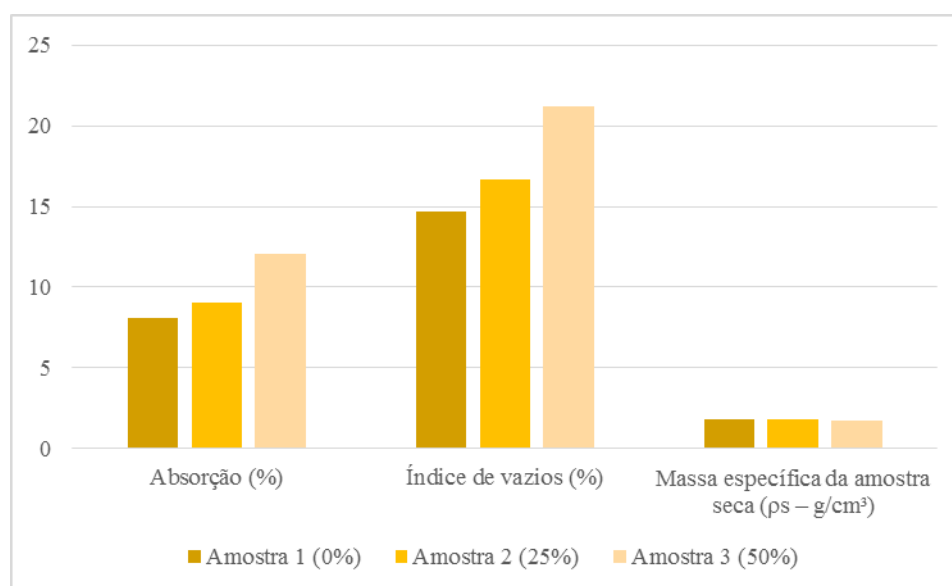
De posse desses valores, foram calculados a taxa de absorção de água, o índice de vazios e a massa específica da amostra seca por meio das equações (1), (2) e (3) respectivamente. Os resultados são mostrados na Tabela 09 e no gráfico da Figura 14.

Tabela 09: Absorção de água, índice de vazios, massa específica da amostra seca.

Amostra	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica da amostra seca ($\rho_s - \text{g/cm}^3$)
Amostra 1 (0%)	8.09	14.71	1.82
Amostra 2 (25%)	9.04	16.66	1.84
Amostra 3 (50%)	12.07	21.21	1.76

Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 14: Absorção de água, índice de vazios, massa específica da amostra seca.



Fonte: Autoria própria, 2018.

O aumento da presença de RCD na mistura contribuiu para o crescimento da taxa absorção de água e do índice de vazios. A Amostra 2 apresentou um aumento de 0,95% e Amostra 3 um acréscimo de 3,98%, com relação a Amostra 1 na taxa de absorção de água. Enquanto que para o índice de vazios, a Amostra 2 apresentou um aumento de 1,95% e a Amostra 3 um acréscimo de 6.5%. Isso pode estar associado pelo aumento na plasticidade da mistura do concreto com o agregado de resíduo, que inferiu em uma maior taxa de incorporação de ar na massa, e logo, há um aumento da porosidade.

É importante lembrar que a taxa de absorção de água e a porosidade pode estar diretamente associada ao índice de vazios, pois este refletiu a capacidade de absorção de água do concreto, dado que a água absorvida penetrou nos poros e vazios do material. Dessa maneira, quanto maior o índice de vazios maior a taxa de absorção de água, conforme verificado nos ensaios. Além disso, o aumento da absorção de água no concreto interfere diretamente na durabilidade do material, visto que a água atua como agente agressivo danificando as propriedades do material.

Comumente, uma maior porosidade do concreto contribuiu para uma diminuição da resistência a compressão, visto que aumentou a presença de espaços vazios que não contribuem para o ganho de resistência (NEVILLE, 2013). Porém, os corpos de prova ensaiados apresentaram um crescimento do índice de vazios paralelo ao da resistência mecânica.

No tocante à massa específica, Almeida (2002) colocou que essa propriedade depende de muitos fatores, principalmente da natureza dos agregados, da sua granulometria e do método de adensamento empregado. Nas construções correntes, admitiu-se que a massa específica do concreto simples como sendo de 2.4 kg/m^3 (0.024 g/cm^3) (BASTOS, 2006). Nesse sentido, pode-se notar que os valores de massa específica seca encontrados para as amostras foram relativamente próximos entre si, apresentou uma pequena diminuição com o aumento do agregado de resíduo na Amostra 3, foi muito maior que o valor de referência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se verificar que o uso de RCD possibilitou uma trabalhabilidade média no concreto fresco, sendo que o concreto de referência obteve uma alta trabalhabilidade. No tocante à resistência à compressão, houve um aumento cerca de 100% e 145% para as amostras com taxa de substituição de agregado natural por RCD de 25% e 50%, respectivamente. Isso representou uma vantagem na aplicação de RCD, pois a resistência à compressão foi uma importante propriedade a ser analisada quando se tratou de concreto, aliando segurança e sustentabilidade ao material.

Com relação ao índice de vazios e taxa de absorção de água, o aumento da quantidade de RCD contribuiu para um crescimento desses valores. A amostra 2, que tinha 25% de agregado natural substituído por RCD, obteve um aumento de 0,95% e Amostra 3, que tinha 50% de agregado natural substituído por RCD, apresentou um acréscimo de 3,98%, com relação a Amostra 1 na taxa de absorção de água. No tocante ao índice de vazios, a Amostra 2 proporcionou um aumento de 1,95% e a Amostra 3 um acréscimo de 6.5%. Sendo, portanto, resultados satisfatórios.

Considerando o aumento do índice de vazios, a massa específica das amostras analisadas diminuiu com a maior quantidade de RCD. Apesar disso, pode-se notar que a massa específica seca analisada é maior do que a massa específica comumente encontrada em concretos simples das obras correntes, a qual comparada com outras literaturas em que se aponta como sendo de 2.4 kg/m^3 (0.024 g/cm^3), e os valores encontrados foram de 1.84 g/cm^3 e 1.76 g/cm^3 , para a Amostra 2 e 3, respectivamente. A Amostra 3 apresentou uma massa específica menor do que o concreto de referência da Amostra 1, o que inferiu na execução de um concreto menos pesado. Concretos mais leves contribuem para a diminuição do peso próprio da estrutura, que se reverbera na economia com os demais elementos estruturais.

Dessa forma, pode-se notar a possibilidade da viabilidade da aplicação de RCD enquanto agregado na composição do concreto. Porém, enquanto sugestões para trabalhos futuros, verifica-se a necessidade do aprofundamento dessa pesquisa, para tanto é interessante realizar medidas como a execução de outros ensaios com traços diferenciados, a análise mais detalhada e precisa dos componentes dos resíduos coletada e o uso de amostras de resíduos de diversas obras para que se possibilite ensaios com RCD de diferentes composições. Entre os fatores limitantes para o uso RCD está o de ser

algo relativamente recente e ser pouco difundido, assim como também a deficiência na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil, que dificultou a expansão de empresas voltadas para a produção de concreto reciclado.

REFERÊNCIAS

AMADEI, Daysa Ione Braga et al. A questão dos resíduos de construção civil: um breve estado da arte. **Revista Nupem**, v. 3, n. 5, p. 185-199, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2016**. ABRELPE: São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm>. Acesso em 24 de agosto de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 10004**: Resíduos sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A RECICLAGEM DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. **Relatório Pesquisa Setorial – 2014/2015**. ABRECON: São Paulo, 2015. Disponível em: < http://abrecon.org.br/pesquisa_setorial/> Acesso em 23 de agosto de 2018.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Fundamentos do concreto armado. **Bauru: UNESP**, 2006.

BRASIL. **Lei nº 12305**, 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. . Brasília, DF.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº. 307**. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, nº. 136, Seção 1, p. 95-96, 2002a. Disponível em: <www.mma.gov.br/conama>. Acesso em: 25 de agosto de 2018.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil (Literature review: reuse of construction and demolition waste in the construction industry). **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015.

CALIXTO, Jhones Remos Macêdo da Rocha. **Análise da atual situação do Brasil quanto a geração e gestão dos resíduos sólidos com ênfase na construção civil**. 201. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2017.

CBIC. Pessoal ocupado e Participação (%) no Total Brasil – segundo as classes de atividades. 2015. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>> Acesso em 24 de agosto de 2018.

_____. Participação (%) no Valor Adicionado Bruto (a preços básicos) – Segundo as classes e as atividades. 2017. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>> Acesso em 24 de agosto de 2018.

_____. Taxa de variação de setores e subsetores. 2018. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>> Acesso em 24 de agosto de 2018.

ERDEM, Savaş; GÜRBÜZ, Ezgi; UYSAL, Mücteba. Micro-mechanical analysis and X-ray computed tomography quantification of damage in concrete with industrial by-products and construction waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 189, p. 933-940, 2018.

FERNANDES, Antônio Vitor Barbosa; AMORIM, José Ricardo Ribeiro. Concreto sustentável aplicado na construção civil. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT**, v. 2, n. 1, p. 79-104, 2014.

FIEB. Gestão de Resíduos na Construção Civil: Redução, reutilização e reciclagem. 2013. Disponível em: <www.fieb.org.br/bancafiieb/detalhe/gestao-de-residuos-na-construcao-civil-reducao-reutilizacao-e-reciclagem/177>. Acesso em 24 de agosto de 2016.

GONÇALVES, Robson (Org.). **Perfil da Indústria de Materiais de Construção**. São Paulo, 2017.

LEÓN, Oscar Palacio; PORRAS, Alvaro Chávez; CASTIBLANCO, Yessica Liceth Velásquez. Evaluación y comparación del análisis granulométrico obtenido de agregados naturales y reciclados. **Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento**, v. 21, n. 53, p. 96-106, 2017.

LIMA, Sandovânio Ferreira et al. Concreto e suas inovações. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 1, n. 1, p. 31-40, 2014.

MEDEIROS-JUNIOR, Ronaldo A.; BALESTRA, Carlos ET; LIMA, Maryangela G. Applicability of recycled aggregates in concrete piles for soft soil improvement. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 1, p. 56-64, 2017.

MOTTER, Janaína Setin; MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach; BERNUCCI, Liedi Legi Bariani. Performance of hot mix asphalt concrete produced with coarse recycled concrete aggregate. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 27, n. 11, p. 04015030, 2015.

MORETTI, Juliana P. et al. Joint use of construction waste (CW) and sugarcane bagasse ash sand (SBAS) in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 113, p. 317-323, 2016.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. Oficina de Textos, 2016.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. Bookman Editora, 2013.

NETO, Luís Antônio da Cunha Viana; SALES, Angela Teresa Costa; SALES, Lucila Costa. Efeitos da variabilidade de agregados de RCD sobre o desempenho mecânico do concreto de cimento Portland. **Revista Matéria**, v. 23, n. 1.

RODRIGUES, Camila Borba et al. Resistencia à compressão de blocos de concreto produzidos com agregados reciclados mistos. **Anais da Mostra de Extensão, Inovação e Pesquisa**, v. 2, n. 1, 2015.

SAMPAIO, Liliane Lima. **Comportamento Mecânico de Resíduos Beneficiados da Construção e Demolição Utilizados na Fabricação de Concreto e Estabilização de Solos**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2013.

SILVA, Raphael Baldusco da et al. Concretos secos produzidos com agregados reciclados de RCD separados por densidade. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 4, p. 335-349, 2015.

WANG, Wenjing et al. Mechanical properties and stress-strain relationship in axial compression for concrete with added glazed hollow beads and construction waste. **Construction and building materials**, v. 71, p. 425-434, 2014.

YU, Rui; SHUI, Zhonghe. Efficient reuse of the recycled construction waste cementitious materials. **Journal of cleaner production**, v. 78, p. 202-207, 2014.