



FRANCISCO FELIPE PEDROSA BEZERRA

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO NATURAL PELO
RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO CONCRETO**

FRANCISCO FELIPE PEDROSA BEZERRA

Error! Reference source not found.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Cicero Joelson Vieira Silva

Cajazeiras
2020

IFPB/ Campus Cajazeiras
Coordenação da Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catálogo na fonte: Daniel Andrade CRB – 15/ 593

B574i

Bezerra, Francisco Felipe Pedrosa.

Influência da substituição do agregado graúdo natural pelo resíduo de construção e demolição no concreto / Francisco Felipe Pedrosa Bezerra; orientador Cícero Joelson Vieira da Silva. – Cajazeiras, 2020.

68 f.:

Orientador: Cícero Joelson Vieira da Silva.

TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.

1. Concreto. 2. Resíduos de construção. 3. Demolição – Engenharia civil . 4. Impactos ambientais – Engenharia civil 5. Sustentabilidade – Engenharia civil I. Título.

691. 3(0.067)

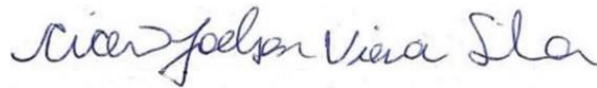
FRANCISCO FELIPE PEDROSA BEZERRA

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO NATURAL PELO
RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO CONCRETO**

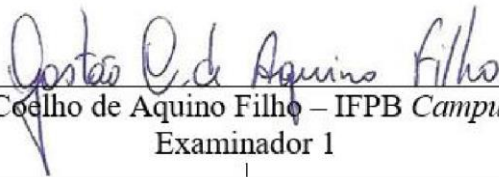
Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 17 de fevereiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA



Me. Cicero Joelson Vieira Silva – IFPB *Campus* Cajazeiras
Orientador



Me. Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB *Campus* Cajazeiras
Examinador 1



Mateus Rodrigues da Costa – IFPB *Campus* Cajazeiras
Examinador 2

In memoriam a minha querida e eterna avó Izabel Bezerra Lins, que seja eterno o nosso amor. A minha mãe, Jacinta Pedrosa, que sempre esteve ao meu lado nessa jornada, e a minha irmã Isabela Pedrosa. Para sempre amarei vocês.

AGRADECIMENTOS

Em especial, quero agradecer a minha mãe Jacinta Pedrosa por todo apoio, amor, dedicação, companhia e confiança dada a mim durante esses cinco anos de curso. Sou imensamente grato e dedico todas as minhas vitórias.

À minha querida e eterna avó, Izabel Bezerra Lins, que me ensinou o caminho do amor e da educação, me ensinou a ser um grande engenheiro e fez parte integrante dessa história até chegar ao ensino superior, e a minha tia Maria Batista, pelas orações e amor.

À minha irmã Izabela Pedrosa, pelo amor, confiança e carinho, sei que as nossas ausências nunca diminuirão o afeto que temos um pelo outro.

Às minhas primas, Rita Célia e Jaqueline Pedrosa, por sempre acreditaram e confiaram na minha capacidade de vencer, amo vocês.

Ao meu amor e querido Miguel Adarms por acreditar em meus sonhos, objetivos e por deixar o meu caminho mais harmonioso para caminhar, por acreditar em minha capacidade de vencer e por me amar.

Ao Prof. Cicero Joelson pela orientação dada a este trabalho, bem como pela dedicação e confiança.

Aos colegas do IFPB, em especial a Wandenússia e Max pelos auxílios nos ensaios realizados no laboratório.

Às técnicas de laboratório de geotecnia e materiais da construção civil, Mery Angela e Ana Paula, pelas orientações e apoio dado.

Ao Instituto Federal da Paraíba, IFPB, *Campus* Cajazeiras pela oportunidade de realização de trabalhos na área de pesquisa e de extensão.

RESUMO

Os impactos ambientais decorrentes da indústria da construção civil se estendem desde o processo de extração da matéria prima para a produção de agregados até o a construção em um canteiro de obra, onde ocorre a geração de resíduos sólidos, os quais são depositados de forma irregular e constituem mais da metade dos resíduos gerados em centros urbanos. Diante disso, medidas mitigadoras vêm sendo pesquisadas no Brasil e no mundo com a finalidade de criar meios e parâmetros tecnológicos que tornem o processo menos impactante ao meio ambiente. Como exemplo temos a utilização de agregados graúdos reciclados, estes são provenientes do beneficiamento de resíduos composto por restos de concreto, argamassa, alvenaria, telhas e blocos cerâmicos, e podem ser substitutos ao agregado natural na composição do concreto. Entretanto, ainda existem muitas dúvidas em relação a esse método, principalmente na eficiência mecânica, pois os agregados reciclados apresentam uma grande heterogeneidade e variedade no comportamento físico e na composição química. Desta forma, esse trabalho foi elaborado com a finalidade de utilizar agregado graúdo reciclado classificando-os de forma homogênea, para tanto os materiais foram segregados em cinzas, os quais possuem predominância cimentícias, como restos de argamassa e concreto, e vermelhos, provenientes de materiais cerâmicos, como restos de telhas e blocos de alvenaria. As porcentagens de substituição corresponderam aos valores de 5%, 10% e 15% em relação ao agregado natural, tendo em vista que trabalhos analisados recomendam um valor de dosagem de até 20%. Diante disso, o objetivo foi analisar as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. Verificou-se com os resultados que os agregados graúdos reciclados podem ser usados na composição do concreto nas faixas de substituições de até 10% sem uma variação significativa na resistência mecânica à compressão e à tração, bem como na absorção de água.

Palavras-Chave: Concreto; Resíduos de construção e demolição; Agregados; Impactos Ambientais; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The environmental impacts resulting from the civil construction industry extend from the process of extraction of raw material for the production of aggregates to the construction at a construction site, where the generation of solid waste occurs, which are deposited in an irregular manner and constitute more than half of the waste generated in urban centers. In view of this, mitigating measures have been researched in Brazil and in the world in order to create means and technological parameters that make the process less impacting on the environment. As an example, we have the use of recycled coarse aggregates, these come from the processing of residues composed of remains of concrete, mortar, masonry, tiles and ceramic blocks, and can be substitutes for the natural aggregate in the composition of the concrete. However, there are still many doubts regarding this method, mainly regarding mechanical efficiency, since recycled aggregates present a great heterogeneity and variety in physical behavior and chemical composition. Thus, this work was prepared with the purpose of using coarse recycled aggregate classifying them homogeneously, for both the materials were segregated into ashes, which have a cement predominance, such as mortar and concrete, and red, from materials ceramic, such as tiles and masonry blocks. The replacement percentages corresponded to the values of 5%, 10% and 15% in relation to the natural aggregate, considering that the analyzed studies recommend a dosage value of up to 20%. Therefore, the objective was to analyze the properties of the concrete in the fresh and hardened state. It was verified with the results that the recycled coarse aggregates can be used in the composition of the concrete in the substitution ranges of up to 10% without a significant variation in the mechanical resistance to compression and traction, as well as in the water absorption.

Keywords: Concrete; Construction and demolition waste; Aggregates; Environmental Impacts; Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Percentual médio de origem dos RCD.....	30
Figura 2 - Gestão de resíduos sólidos	32
Figura 3 - Recipientes destinados para o acondicionamento de RCD	34
Figura 4 - Fluxograma etapas metodológicas.....	38
Figura 5 - Local irregular de deposição de RCD na cidade de Cajazeiras – PB	39
Figura 6 - Agregados graúdos reciclados.....	39
Figura 7 - Produção de agregados reciclados	40
Figura 8 - Conjunto de peneiras no agitador mecânico	41
Figura 9 - Equipamentos e materiais utilizados no ensaio de granulometria	41
Figura 10 - Molde para compactação do agregado miúdo	42
Figura 11 - Material em banho maria	42
Figura 12 - Massa unitária compactada	44
Figura 13 - Ensaio de massa unitária	44
Figura 14 - Ensaio massa unitária.....	44
Figura 15 - Granulometria agregados reciclados.....	45
Figura 16 - Fluxograma dosagens do concreto.....	46
Figura 17 - Número de corpos de provas utilizados para cada ensaio realizado.....	47
Figura 18 - Moldagem dos corpos de prova.....	48
Figura 19 - Corpos de Prova após o adensamento.....	48
Figura 20 - Corpos de prova.....	49
Figura 21 - Realização do ensaio de consistência	50
Figura 22 - Ensaio de consistência	50
Figura 23 – Verificação da massa do corpo de prova.....	51
Figura 24 - Determinação da altura do corpo de prova.....	51
Figura 25 – Rompimento dos corpos de prova.....	52
Figura 26 - Corpo de prova rompido à compressão.....	52
Figura 27 - Ensaio à tração por compressão diametral	53
Figura 28 - Seção transversal do corpo de prova rompido.....	53
Figura 29 - Ensaio de absorção por capilaridade	54
Figura 30 - Verificação da lâmina molhada	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos resíduos	27
Tabela 2 - Principais materiais gerados a partir da reciclagem dos resíduos	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Concentração de usinas por estados brasileiros.....	37
Gráfico 2 - Principais clientes de agregados reciclados.....	37
Gráfico 3 - Comparação da granulometria dos agregados	57
Gráfico 4 - Curva granulométrica do agregado miúdo	58
Gráfico 5 - Resultado do <i>Slump Test</i>	59
Gráfico 6- Resultados massa específica.....	61
Gráfico 7 - Absorção de água CRC	62
Gráfico 8 - Absorção de água CRV	62
Gráfico 9 - Absorção de água CRCV	63
Gráfico 10 - Resultados resistência à compressão.....	64
Gráfico 11 – Resultados resistência à tração.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos agregados	23
Quadro 2 - Módulo de finura.....	23
Quadro 3 - Quantidade total de RCD coletado pelos municípios no Brasil.....	28
Quadro 4 - Coleta de RCD na região Nordeste	29
Quadro 5 - Perdas nos canteiros de obras durante o processo construtivo	31
Quadro 6 - Normas para a caracterização dos agregados convencionais.....	40
Quadro 7 - Normas para caracterização dos agregados graúdos reciclados	45
Quadro 8 - Resultados caracterização dos agregados naturais	57
Quadro 9 - Resultados caracterização dos agregados reciclados	57
Quadro 10 - Resultado do ensaio <i>Slump Test</i>	58
Quadro 11 - Resultado da massa específica	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição

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

ACI – American Concrete Institute

ARI – Alta Resistência Inicial

CC – Concreto Convencional

CRC5 – Concreto com 5% de Resíduos Cinzas

CRC10 – Concreto com 10% de Resíduos Cinzas

CRC15 – Concreto com 15% de Resíduos Cinzas

CRV5 – Concreto com 5% de Resíduos Vermelhos

CRV10 – Concreto com 10% de Resíduos Vermelhos

CRV15 – Concreto com 15% de Resíduos Vermelhos

CRCV5 – Concreto com 5% de Resíduos Cinzas e Vermelhos

CRCV10 – Concreto com 10% de Resíduos Cinzas e Vermelhos

CRCV15 – Concreto com 15% de Resíduos Cinzas e Vermelhos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP – Cimento Portland

FIEB – Federação das Indústrias do Estado da Bahia

IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFPB – Instituto Federal da Paraíba

NBR – Norma Brasileira

NM – Normas da Associação Mercosul

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PVC – Policloreto de Vinila

PGRCC – Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

RCD – Resíduo da Construção e Demolição

RCC – Resíduo da Construção Civil

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	19
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 CONCRETO	21
2.1.1 Cimento	22
2.1.2 Agregados	23
2.2 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DO CONCRETO	24
2.2.1 Trabalhabilidade.....	24
2.2.2 Massa específica	25
2.2.3 Resistência mecânica.....	25
2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	26
2.3.1 Definições	27
2.4 PANORAMA ACERCA DA GERAÇÃO DE RCD.....	28
2.5 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NOS CANTEIROS DE OBRAS .	31
2.6 RECICLAGEM DA FRAÇÃO MINERAL DE RCD.....	34
2.6.1 Usinas de reciclagem de RCD	35
3 METODOLOGIA	38
3.1 COLETA, SELEÇÃO E BENEFICIAMENTO DOS RCD	38
3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS AGREGADOS RECICLADOS E NATURAIS	40
3.2.1 Agregados naturais	40
3.3 LIGANTE.....	46
3.4 DETERMINAÇÃO DO TRAÇO	46

3.5 PRODUÇÃO DO CONCRETO	47
3.6 ENSAIOS LABORATORIAIS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	49
3.6.1 Ensaio de consistência, <i>Slump Test</i>	49
3.7 ENSAIOS LABORATORIAIS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO ...	50
3.7.1 Massa específica	50
3.7.2 Ensaio de resistência a compressão axial	51
3.7.3 Ensaio de Tração por compressão diametral	53
3.7.4 Absorção de água por capilaridade	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	56
4.2 RESULTADO DA CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	58
4.2.1 Ensaio de consistência, <i>Slump test</i>	58
4.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	60
4.3.1 Massa específica	60
4.3.2 Absorção de água por capilaridade	61
4.3.3 Resistência à compressão axial	63
4.3.4 Resistência à tração por compressão diametral	65
5 CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é tida como um setor que demanda uma grande quantidade de recursos naturais extraído do meio ambiente para aquisição de matéria prima, como por exemplo, o basalto, uma das rochas usadas na produção de brita, e areia de leito dos rios, para utilização como agregado miúdo, materiais estes amplamente utilizados na produção de argamassas e concretos, considerados como produtos não-renováveis.

O concreto é conhecido como o material mais utilizado em todo o mundo para a construção de estruturas, o seu consumo médio gira em torno de 1,9 toneladas por habitante ao ano, valor inferior apenas ao consumo de água (IBRACON, 2009). Aplicando esse consumo ao número de habitantes, por exemplo, na cidade de Cajazeiras/PB, onde este estudo foi desenvolvido, possuindo, de acordo com dados do IBGE (2019), cerca de 61.993 habitantes, obtém-se um consumo médio de 117 mil toneladas por ano. Além disso, a sua descoberta no final do século 19 e o grande uso no século 20 foram essenciais também para o aumento no uso desse material (SEGATTO, 2017). Mehta e Monteiro (2014) estimam que o consumo de concreto atualmente no mundo seja da ordem de 19 bilhões de toneladas métricas ao ano. Esse fato é decorrente das excelentes características mecânicas que esse material apresenta, sendo considerado como uma pedra artificial, além da boa trabalhabilidade, podendo obter qualquer forma, devido a sua plasticidade ser elevada no estado fresco, e o seu baixo custo.

Todavia, a extração da matéria prima para produção dos materiais que compõem o concreto e a geração de entulho são um dos fatores que levam a impactar negativamente o meio ambiente. Dentre esses impactos, podemos elencar: modificação dos leitos de rios, causando o assoreamento, problemas de estabilidade do solo, como a erosão, uma vez que altera a paisagem modificando a geomorfologia local, danos à flora e à fauna também são verificados, além de impactos sociais e atmosféricos.

Além disso, a produção de agregado graúdo tem se tornado mais escasso devido à ausência de jazidas em algumas regiões, o que acaba por aumentar o custo na produção do concreto e conseqüentemente no custo final da obra. Cerca de 20 a 50% do total consumido pelo homem é utilizado na construção civil (FIEB, 2005).

Contudo, outra problemática ambiental e econômica ligada à construção civil diz respeito à geração de resíduos sólidos, pois a utilização de insumos acaba por gerar um grande volume de material que é descartado ao meio ambiente, contrapondo-se aos agregados

naturais, pois enquanto as jazidas se tornam mais escassas em algumas localidades, o volume de resíduos gerados nos canteiros de obras só tendem a aumentar. Estima-se que 60% do quantitativo total de resíduos gerados em alguns centros urbanos são produzidos neste setor, (ARCANJO; FERNANDES, 2012). Outras informações dão conta que o setor da construção civil é responsável por aproximadamente 40% dos resíduos sólidos em termos mundiais incluindo o uso de 12% de toda a água doce (PNUMA, 2011).

O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) define em sua Resolução nº 307 de 2002 resíduos de construção civil como os provenientes de reformas, reparos e demolições de obras de construção, os quais incluem, além de um grande volume de plástico, papelão e madeira, resíduos de concreto, de cerâmica vermelha e de argamassa, comumente denominado de entulhos, estes materiais são definidos pela sigla RCD, Resíduos de Construção e de Demolição.

As fontes geradoras de resíduos de construção e resíduos de demolição estão relacionadas, respectivamente, com a qualidade empregada, principalmente da mão de obra, e da técnica construtiva associada, pois as perdas de materiais originam resíduos que saem dos canteiros em forma de entulho, e com a necessidade de manutenção e reformas de algumas estruturas devido ao crescimento demográfico de algumas cidades. Além disso, o desperdício na construção civil leva a indústria a produzir mais insumos do que o necessário.

Contudo, a maior parte desse material é descartado de forma inadequada o que acarreta sérios problemas ambientais, tendo em vista que a sua deposição final raramente obedece a um padrão técnico adequado. Entre os diversos impactos ao meio ambiente é possível destacar a poluição de áreas nativas, assoreamento de rios e lagos e impactos no sistema de drenagem de águas pluviais nos centros urbanos. Diante a essas problemáticas, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas a fim de criar soluções que mitiguem e minimizem esses impactos, tais como criação de técnicas de gerenciamento nos canteiros, diagnósticos dos materiais descartados, métodos alternativos para uma deposição final adequada e estudos voltados a utilização de agregados alternativos produzidos por entulhos.

Contudo, apesar do grande avanço nas pesquisas em torno da reciclagem dos RCD, o Brasil ainda apresenta um déficit no que diz respeito às técnicas empregadas, nos resultados obtidos e no volume de material que é utilizado com esta objetividade, além da pouca divulgação técnica difundida, por exemplo, a despeito dos resultados de pesquisas relacionadas com a viabilidade mecânica e segura de concreto e argamassa constituída por agregado reciclado para empresas do ramo construtivo.

É justificável assim a importância de estudos que definam mecanismos alternativos a fim de contribuir para uma redução no lançamento de RCD, atendendo aos padrões técnicos estabelecidos e na formulação de normas técnicas voltadas a utilização desses agregados no Brasil, bem como avaliar o seu potencial nas características mecânicas do concreto, cooperando com os estudos em torno deste tema.

A relevância desta pesquisa está ligada a análise que se fez por meio da classificação dos agregados em faixas homogênea de acordo com a matéria prima que o originou, tais como agregados reciclados vermelhos, constituídos por cerâmica vermelha, e cinzas, predominância de argamassa e concreto. Assim, o estudo torna-se uma análise eficiente, pois foram analisados agregados com características mais homogênea, tendo em vista as diferenças existentes entre agregados convencionais e agregados reciclados, pois este último apresenta composição variável, formas irregulares e menor resistência a esforços.

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

Essa pesquisa teve como objetivo substituir o agregado graúdo por RCD na composição do concreto, sendo dividida desta forma em objetivos geral e específicos.

Objetivo Geral:

Analisar as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido ao substituir parcialmente os agregados graúdos convencionais por agregados provenientes do beneficiamento de resíduos da construção civil.

Objetivos Específicos:

- Realizar o beneficiamento de entulho da construção civil a fim de produzir agregado graúdo;
- Classificar os agregados reciclados de acordo com a origem dos resíduos;
- Caracterizar os materiais utilizados na fabricação do concreto convencional e reciclado;
- Realizar ensaios mecânicos do concreto no estado fresco e endurecido;
- Avaliar e comparar as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido produzido com agregados graúdos reciclado e convencional a partir de um mesmo traço variando a porcentagem de substituição e o tipo de material que originou o RCD.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O conteúdo da presente monografia encontra-se estruturada da seguinte maneira:

- Capítulo 01: este primeiro capítulo apresentou a introdução a despeito do estudo realizado, o qual englobou a justificativa, a relevância da pesquisa e os objetivos.
- Capítulo 02: é apresentado um estudo bibliográfico realizado em torno dos principais conceitos e propriedades que caracterizam o concreto convencional e os materiais que o compõe. Além disso, é feita uma explanação sobre as questões relativas aos RCD, abordando as principais fontes geradoras, impactos ambientais, métodos que objetivam formular um gerenciamento adequado e um debate sobre a reciclagem da fração mineral, bem como as usinas para este processo.
- Capítulo 03: explanação sobre a metodologia utilizada para a concretização dos objetivos estabelecidos para o estudo. O capítulo apresenta os métodos e as normas regulamentadoras para a realização dos ensaios laboratoriais.
- Capítulo 04: este capítulo objetiva apresentar os resultados obtidos para as caracterizações dos agregados e os resultados e discussões dos ensaios para o concreto no estado fresco e endurecido.
- Capítulo 05: este capítulo apresenta a conclusão da monografia seguido de recomendações para trabalhos futuros e referencial bibliográfico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO

O concreto convencional é conhecido como o constituído sem nenhuma característica especial e é comumente empregado no dia a dia nos canteiros de obras. É um material composto principalmente pelas misturas do cimento Portland comum, considerado como aglomerante, água e agregados, os quais se dividem em graúdo e miúdo, podendo ser estes respectivamente pedras britadas e areias de leito de rios. A proporção entre esses materiais é feita usualmente em relação a quantidade de cimento, e é habitualmente denominada de traço. Torres Filho (2016) define a condição fresca do concreto como o estado em que se encontra o material logo após a mistura dos componentes, nesse estado a viscosidade é considerada baixa e o concreto pode ser moldado, devendo possuir boa trabalhabilidade, a qual é definida como a facilidade ou não de moldagem do material. Ambrozewicz (2012) afirma ser o concreto o material mais importante da engenharia civil possuindo várias aplicações, tais como: estruturas, revestimentos, pavimentos, fundações, alvenarias, canalizações, entre outros.

Por outro lado, existem outras composições de materiais diversos, como aditivos, que dão ao concreto diferentes características e empregabilidade.

A microestrutura do concreto é constituída de três fases: pasta de cimento hidratada, agregado e zona de transição. A pasta de cimento é conhecida por ser o meio ligante entre os materiais, sua composição contém numerosas e diferentes fases. A zona de transição é uma região que fica entre às partículas de agregados e a pasta de cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A principal forma de analisar a resistência do concreto frente aos esforços solicitados, é avaliando a sua resistência à compressão, a qual corresponde cerca de 80% de resistência deste material. Esses esforços de compressão, que corresponde ao efeito de pressionar a estrutura, é avaliado em laboratório por meio de ensaios específicos. Desta forma, Metha e Monteiro (2014) classificam o concreto convencional em três categorias com base na sua resistência à compressão:

- Concreto de baixa resistência: menos de 20 MPa;
- Concreto de resistência moderada: de 20 MPa à 40 MPa;
- Concreto de alta resistência: mais de 40 MPa.

No entanto, a utilização do concreto acarreta diversos impactos ambientais que estão relacionados aos materiais comumente utilizados na mistura, como os minerais, até o processo de manejo e utilização nas diferentes obras urbanas.

Diante disso, a seguir são apresentadas algumas das principais características e definições a despeito dos materiais que constituem o concreto, relacionando estas ao estudo desenvolvido.

2.1.1 Cimento

O cimento é definido por Ambrozewicz (2012) como um material em forma de pó fino que possui propriedades aglutinantes, sendo classificado como um aglutinante hidráulico, pois ao entrar em contato com a água reage quimicamente levando ao endurecimento. Esse processo é comumente conhecido como tempo de pega e inicia logo após a mistura do mesmo com a água. Depois de endurecido, permanece estável e mesmo em contato novamente com a água não perde essa propriedade. Ambrozewicz (2012) ainda afirma que esse é o aglomerante mais importante em uso atualmente e o conhecimento de suas propriedades é de fundamental importância para ser aplicado na constituição do concreto e argamassas.

Além disso, Metta e Monteiro (2014, p.217) trazem a seguinte definição para este material:

O cimento Portland é um cimento hidráulico produzido pela pulverização de clínquer constituídos essencialmente por silicatos de cálcio hidráulicos cristalinos e uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e até 5% de calcário como adição na moagem. Clínqueres são nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de material sintetizado que é produzido quando uma mistura de matérias-primas com proporcionamento adequado é aquecido sob altas temperaturas.

De acordo com Torres Filho (2016), a matéria prima para a produção de cimento são basicamente as rochas calcárias e argilas. Todavia, ainda são realizadas adições, como a escória de alto forno e material pozolânico, com o objetivo de obter um cimento com propriedades específicas a um determinado resultado.

2.1.2 Agregados

Mehta e Monteiro (2014) definem agregados como um material granular, tal como a areia, pedregulhos e rochas britadas, onde são usados em um meio cimentício para produção de materiais como a argamassa e o concreto. A NBR 9935 (ABNT, 2011), a qual estabelece terminologias para os agregados, os definem como material granular, sem forma e volume definido e que possuem características e propriedades adequadas a serem utilizados na preparação de argamassa e concreto.

Torres Filho (2016) afirma que agregados são materiais obtido da desagregação natural de rochas, de processos industriais ou rejeitos de processos industriais. Esses materiais são classificados, de acordo com a sua granulometria, em graúdos e miúdos, e possuem características tais que influenciam na dosagem do concreto. Os agregados graúdos têm dimensões que variam entre 4,8 mm e 50,0 mm, enquanto os miúdos de 0,15 mm a 4,8 mm. Além disso, outra classificação é feita para os agregados graúdos de acordo com a massa específica, Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos agregados

Tipo de agregado	Massa específica (M.E.)
Leves	M.E. < 2000 kg/m ³
Normal	2000 ≤ M.E. ≤ 3000 kg/m ³
Pesados	M.E. > 3000 kg/m ³

Fonte: Autoria própria, 2019

De acordo com o módulo de finura, os agregados miúdos classificam-se em areia grossa, média e fina, Quadro 2.

Quadro 2 - Módulo de finura

Módulo de finura (M.F.)	
Areia grossa	MF > 3,90
Areia média	3,90 > MF > 2,40
Areia fina	MF < 2,40

Fonte: Ambrozewicz, 2012

O mais adequado é dividir o estudo das propriedades dos agregados em três categorias baseado nas características e suas relações (MEHTA; MONTEIRO, 2014):

-Características que dependem da porosidade: massa específica, absorção de água, resistência, dureza, módulo de elasticidade;

- Fatores vinculados aos processos de fabricação: tamanho, forma e textura das partículas;
- Características vinculadas à composição química e mineralógica: resistência, dureza, módulo de elasticidade e substâncias deletérias.

2.2 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DO CONCRETO

De acordo com Ambrozewicz (2012), a fim de obter um concreto resistente, durável, econômico e de bom aspecto, é determinante o estudo das seguintes propriedades:

- Propriedades de cada um dos seus materiais;
- Propriedades dos fatores que podem alterar o concreto;
- Proporção correta da mistura;
- Modo de executar o controle durante sua fase de fabricação e após o endurecimento.

Contudo, as propriedades mais importantes para o concreto, que altera diretamente a sua qualidade, são determinadas e classificadas de acordo com o estado em que o material se encontra, estado fresco ou endurecido.

2.2.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade do concreto fresco determina a facilidade com o qual um concreto pode ser manipulado sem segregação nociva. O componente físico da trabalhabilidade mais importante é a consistência, a qual está relacionada com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes (BAUER, 2016). A ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland, relaciona essa propriedade a três características importantes:

- Redução de vazios e adensamento do concreto;
- Moldagem, relacionada ao preenchimento das formas e espaços entre as barras de aço;
- Resistência a segregação.

Contudo, segundo Bauer (2016) os principais fatores que afetam diretamente a trabalhabilidade da mistura são a consistência, tipo de mistura, tipo de transporte, lançamento, adensamento do concreto, dimensões da peça a moldar e afastamento das armaduras. Dentre elas a consistência é tida como a mais importante, a qual permite ter uma ideia sobre as características do concreto, ela é medida a partir do ensaio comumente denominado como

slump test. Porém, esse método, assim como os demais utilizados para medir a consistência, não medem diretamente as propriedades reológicas do concreto.

Além disso, a trabalhabilidade é afetada pela forma dos grãos, agregados muito finos, por exemplo, necessitam de mais água afim de obter um concreto com uma trabalhabilidade ideal.

2.2.2 Massa específica

A norma NM 52 (ABNT, 2009), que prescreve a determinação de massa específica e massa específica aparente para agregados miúdos, define massa específica como a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. Essa propriedade interfere diretamente no cálculo do carregamento de uma estrutura, tendo em vista que o carregamento leva em consideração o peso próprio da estrutura de concreto, a qual é composta por concreto usual de massa específica em torno de 25 kn/m^3 (AMBROZEWICZ, 2012).

De acordo com a massa específica, os concretos são classificados da seguinte forma (ALMEIDA, 2002):

- Concretos leves situam-se normalmente, entre $1,2$ a $2,0 \text{ tf/m}^3$;
- Concretos normais possuem massa específica da ordem de $2,0$ a $2,8 \text{ tf/m}^3$;
- Concretos pesados, utilizados em blindagem contra radiações, possuem massa específica em torno de $2,8$ a $5,0 \text{ tf/m}^3$.

Geralmente o principal fator responsável pela massa específica do concreto é o agregado, uma vez que este contribui com cerca de 80% da massa do concreto (BAUER, 2016).

2.2.3 Resistência mecânica

É considerada como a principal propriedade do concreto. Metha e Monteiro (2014) define resistência como a medida da quantidade de tensão necessária para que o material se rompa. Os fatores que influenciam diretamente nesta propriedade são: relação água/cimento e a idade do material, o qual alcança a sua maior resistência aos 28 dias (AMBROZEWICZ, 2012).

Além disso, sabe-se que o concreto resiste mal em relação ao efeito de tração e de cisalhamento. A explicação está relacionada à heterogeneia e complexa microestrutura do concreto, principalmente a zona de transição (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Outro fator determinante da resistência do concreto é a relação entre a quantidade de água e cimento (A/C). A resistência do concreto é tanto menor quanto maior a quantidade de água, no entanto é exigido uma determinada quantidade de água afim de obter uma trabalhabilidade adequada (DURAN; FRACARO, 2011).

Dentro do campo dos concretos plásticos, a resistência aos esforços mecânicos, bem como as demais propriedades mecânicas do concreto endurecido, varia na relação inversa água/cimento (VOTORANTIM, 2016).

2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Como todo setor que consome uma grande parcela de insumos, a indústria da construção civil acaba por gerar resíduos que, geralmente pela falta de recursos e um bom gerenciamento, ou por ideologias políticas, não recebem um tratamento adequado no âmbito que rege as políticas de saneamento. O quantitativo desse material exposto na natureza tende a alcançar volumes maiores ao longo dos anos, o que vem ocasionando desajustes ecológicos. No entanto, pesquisadores têm promovido mecanismos que vem sendo empregados neste setor com a objetividade de minimizar esses impactos e promover uma maior sustentabilidade.

Diante disso, é apresentado um panorama geral acerca dos RCD. Essa contextualização inicia-se pela definição de alguns termos e expressões utilizadas neste trabalho, com o escopo de promover uma melhor compreensão por parte do leitor. O próximo tópico apresenta os principais fatores geradores desses resíduos, relacionado com as atividades e método construtivos empregados. Além disso, é apresentado um panorama a despeito do gerenciamento desses materiais, bem como os custos envolvidos e as técnicas empregadas para a reciclagem da fração mineral dos RCD.

2.3.1 Definições

Resíduos sólidos são definidos pela Norma Brasileira 10004 (ABNT, 2004) como os provenientes de atividades realizadas em diversos setores ligados a sociedade, sendo constituídos nos estados sólidos e semissólidos. Essa norma relaciona esses resíduos em classes de acordo com o grau de periculosidade atribuída em perigosos e não perigosos. Do mesmo modo, a Lei Federal 12.305 de 2010, a qual institui a PNRS, Política Nacional de Resíduos Sólidos, traz a definição de que esses são materiais, substâncias, objetos ou bem descartados resultantes da atividade humana em sociedade.

Dentre as áreas que contribuem com um volume significativo na geração desses materiais está a indústria da construção civil.

O CONAMA em sua Resolução de nº 307 do ano de 2002, define resíduos sólidos da construção civil como os provenientes de construções, reparos e demolições, além de obras relacionadas à escavação de terrenos. As classes relacionadas aos tipos de resíduos gerados englobam blocos cerâmicos, tijolos, resíduos de concreto, resíduos de argamassa, plástico, tubulações, madeiras, alumínio, papel e papelão, entre outros. Portanto, dependendo do fator gerador os resíduos apresentam geometrias, composição e dimensões variáveis.

Além disso, os RCD são classificados, de acordo com a resolução citada do CONAMA, em classes que variam conforme a técnica empregada para reciclá-lo. Essas classes variam de A para D, Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos resíduos

Classes	Tipo de Reutilização
A	Reutilizáveis ou recicláveis como agregados
B	Resíduos destinados para outras reutilizações
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias
D	Resíduos perigosos oriundo do processo de construção

Fonte: CONAMA, 2002

Para os resíduos de classe A, devido à variedade de materiais que o compõem, diversas nomenclaturas são empregadas, como RCD e entulhos, esses resíduos são classificados também em cinzas e vermelhos, os quais são de predominância cimentícia e cerâmica, respectivamente. No Brasil estes resíduos são chamados, além de entulho, de caliça ou metralha.

Além disso, Lima (1999) sugeriu uma classificação para os resíduos sólidos de construção a fim de realizar uma melhor separação dos materiais. As classes foram as seguintes:

- Classe 1: Resíduo de concreto sem impurezas;
- Classe 2: Resíduo de alvenaria sem impurezas;
- Classe 3: Resíduo de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impurezas;
- Classe 4: Resíduo de alvenaria com presença de terra e vegetação;
- Classe 5: Resíduo composto por terra e vegetação;
- Classe 6: Resíduo com predominância de material asfáltico.

2.4 PANORAMA ACERCA DA GERAÇÃO DE RCD

Nos últimos anos é notável um crescimento enorme no volume de RCD gerado principalmente nos países em desenvolvimento. Esse volume também está ligado ao crescimento da população no mundo, a qual está relacionada com as construções de habitações.

No Brasil a ABRELPE (2017) enfatiza que cerca de 45 milhões de toneladas de RCD foram coletados nos municípios no ano de 2017, um aumento de 0,1% comparado ao ano anterior, Quadro 3.

Quadro 3 - Quantidade total de RCD coletado pelos municípios no Brasil

RCD coletado no Brasil	
Anos	RCD (t/dia)
2016	123.619
2017	123.421

Fonte: ABRELPE, 2017

Em relação à região Nordeste do Brasil a ABRELPE (2017) estima esse valor em 24 mil toneladas ao dia entre os anos de 2016 e 2017, um aumento no ano de 2017 de 198 mil toneladas ao dia, Quadro 4.

Quadro 4 - Coleta de RCD na região Nordeste

RCD coletado na região Nordeste	
Anos	RCD (t/dia)
2016	123.619
2017	123.421

Fonte: ABRELPE, 2017

A geração de resíduos sólidos dentro da construção civil está ligada a diversas fases que vão desde a etapa produtiva, planejamento e projeto, passando pela construção e manutenção até a demolição. Segundo aborda Serpell (1993), a diversos fatores que contribuem para esta geração, entre os quais:

- Deficiência de planejamento no canteiro;
- Detalhamento dos projetos, principalmente os relacionados a instalações elétricas e hidrossanitárias;
- Qualidade da mão de obra empregada;
- Procedimentos de trabalhos ultrapassados, os quais apresentam experiências anteriores com falhas;
- Gestão administrativa, que se atem a resolver os problemas e não a prever e diagnosticá-los;
- Métodos ligados a gerência de custos.

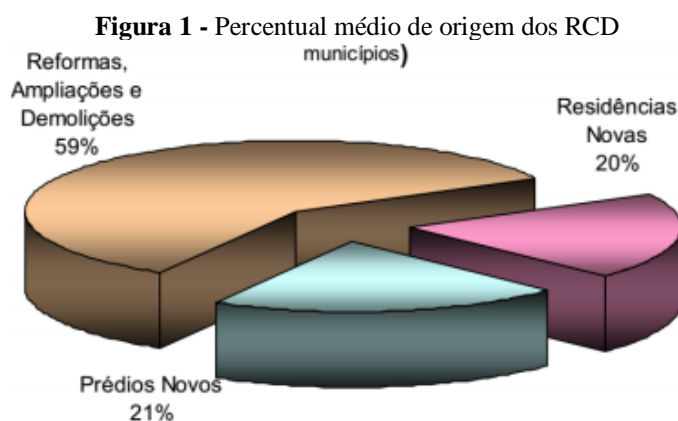
Contudo, vale frisar a importância do desenvolvimento e a relação entre os diversos projetos que envolvem uma determinada obra, pois em muitos dos casos ocorre, por exemplo, a quebra de alvenaria ou do piso para instalação do sistema elétrico ou de água fria e esgoto, gerando com isso desperdício, atraso na obra e conseqüentemente a geração de entulho. Bauer (2014) analisa que cerca de 1,2 t/m² corresponde ao peso de uma edificação construída, porém cerca de 1,8 t/m² de material de construção entra na obra, os 0,6 t/m² de diferença saem do canteiro na forma de entulho.

O processo de construção é definido como a etapa onde os materiais e componentes são organizados e agrupados de tal maneira que permita a concretização da obra construída (BLUMENSCHNEIN, 2007). Esta etapa é a responsável pela maior parte dos resíduos gerados e está ligada com os seguintes fatores:

- Técnica construtiva empregada, a qual está relacionada ao tipo de material utilizado;
- Qualidade da mão-de-obra;
- Organização no canteiro;
- Desperdício de material.

Por outro lado, a necessidade de demolição de estruturas antigas com a finalidade de proporcionar a construção de novas obras influencia diretamente no volume gerado de resíduos de demolição. Esses resíduos são na maioria dos casos constituídos de restos de concreto e de cerâmicas vermelhas e são comumente denominados de entulhos. As demolições estão vinculadas com a necessidade de desenvolver novas obras devido ao desenvolvimento econômico da região e ao aumento demográfico. Na Figura 1 é possível observar os principais processos que geram os resíduos de construção nos grandes centros urbanos.

Além disso, os fatores relacionados com o volume de resíduos de construção gerados em uma determinada região estão ligados ao desenvolvimento econômico da mesma, tipos de materiais predominantes ou disponíveis, quantitativo de obras em execução, entre outros.



Fonte: Pinto, 2015

Os impactos causados pela geração de RCD estão relacionados ao grande volume de material gerado, cerca de 2 a 3 bilhões de toneladas ao ano.

Entretanto, a principal responsável pela geração de resíduos em uma determinada obra é a perda de material durante o processo construtivo. Segundo define Formoso et al. (1996) perda é determinada pela ineficiência de equipamentos, materiais e mão-de-obra em quantidades maiores que as necessárias à produção de uma determinada edificação. O Quadro 5 apresenta, segundo o SEBRAE (1996), exemplos de perda em canteiros de obras segundo sua natureza, momento de incidência e origem.

Quadro 5 - Perdas nos canteiros de obras durante o processo construtivo

Natureza	Exemplo	Momento de incidência	Origem
Superprodução	Produção de argamassa em quantidade superior à necessária para um dia de trabalho.	Produção	Planejamento: falta de procedimentos de controle.
Manutenção de Estoques	Deterioração da argamassa estocada.	Armazenamento	Planejamento: falta de procedimentos referentes às condições adequadas de armazenamento.
Transporte	Condições inadequadas para transporte	Recebimento, transporte, produção	Gerência da obra: falha no planejamento de meios para executar o transporte de materiais
Movimentos	Tempo excessivo de deslocamento devido às grandes distâncias entre os postos de trabalho.	Produção	Gerência da obra: falta de planejamento das sequências de atividades e dos postos de trabalho.
Espera	Parada na execução dos serviços por falta de material.	Produção	Suprimentos: falha na programação de compras.
Substituição	Substituição do acabamento em pintura especificado em projeto por acabamento em pastilha cerâmica	Produção	Suprimentos: falha na programação de compras. Planejamento: falhas no sistema de controles.
Fabricação de Produtos Defeituosos	Espessura de lajes e vigas diferentes das especificadas em projeto	Produção, inspeção.	Projeto: falhas no sistema de fôrmas utilizado.

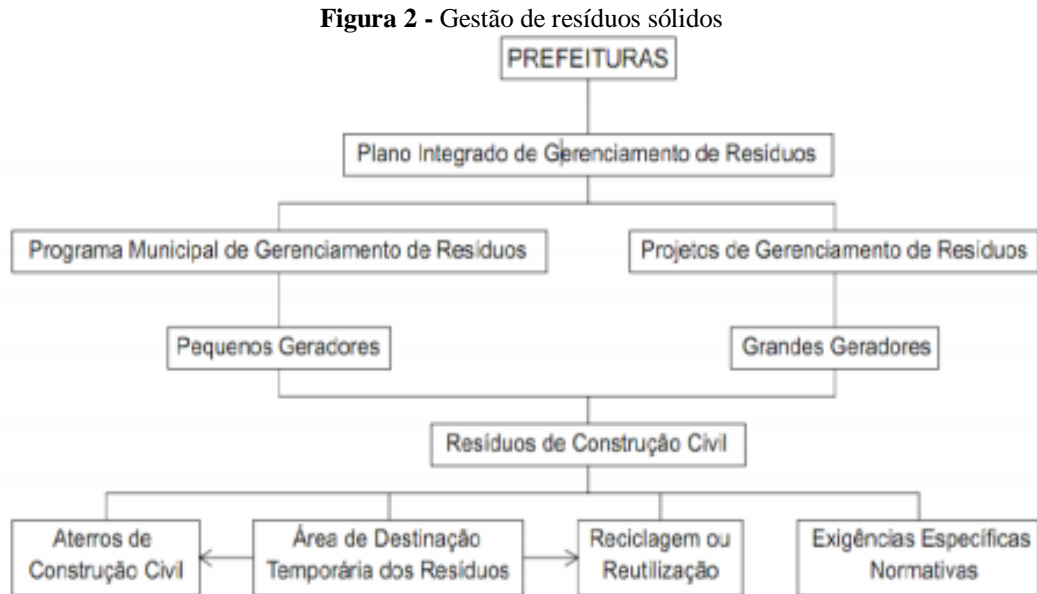
Fonte: SEBRAE, 1996

2.5 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NOS CANTEIROS DE OBRAS

Gerenciamento de resíduos sólidos pode ser entendido como a forma de tornar o processo industrial menos impactante ao meio ambiente e à saúde humana por meio de um conjunto de ações aplicadas aos processos industriais relacionados ao manejo desse material. Essas ações são adequadas aos pontos de coleta, armazenamento, tratamento, transporte e

destinação final (VGRESÍDUOS, 2018). As prefeituras devem se atentar em seus planos de gerenciamento de resíduos sólidos a questão dos resíduos de construção civil (RCC) de forma adequada às normas vigentes.

Oh, Gonçalves e Mikos (2003) apresenta uma estrutura voltada a gestão de resíduos de construção civil por parte das prefeituras baseado na resolução do CONAMA n° 307 de 2002, Figura 2, que mostra o processo por meio de um fluxograma.



Fonte: Oh, Gonçalves e Mikos (2003)

No Brasil foi criada em 2010 a Lei federal 12.305 federal do Ministério do Meio Ambiente que institui o PNRS, o qual os municípios devem se adequar para programar um gerenciamento ambientalmente correto. Essa lei define gerenciamento de resíduos sólidos como um conjunto de ações exercidas nas etapas de coleta, transporte, transbordo e acondicionamento final de forma a tornar o processo ambientalmente adequado em acordo com o plano municipal e as leis vigentes.

Os problemas ligados a geração de resíduos sólidos pela indústria da construção civil vêm levando alguns países a adotar soluções como a criação de leis ambientais e normas regulamentadoras, além da aplicação de multas. Desta forma, surge no mercado empresas com a objetividade de realizar o processo de reciclagem dos materiais. Nos Estados Unidos, apesar de não haver legislação obrigando a realização da reciclagem, o setor dessas empresas é bastante ativo, por exemplo, em cidades como Nova Iorque, Los Angeles e Chicago (GEUS; GARCÍAS, 2014).

Para as empresas que realizam o gerenciamento dos seus resíduos, é possível elencar algumas vantagens, como:

- Otimização da realização dos processos industriais e administrativos;
- Minimização dos impactos ambientais.

Existem duas importantes estratégias de gerenciamento, como afirma Nagalli (2004): qualitativa e quantitativa. A qualitativa parte da escolha adequada dos materiais com o objetivo de analisar a durabilidade. A segunda trata a despeito de utilizar processos construtivos denominados “limpos”, como os concretos usinados e pré-moldados.

O PGRCC – Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil - é uma das exigências estabelecidas pela Resolução nº 307 de 2002 do CONAMA. O órgão municipal competente deve analisar os projetos elaborados pelos construtores, considerado como sendo os geradores de resíduos. O objetivo do projeto é estabelecer medidas necessárias para a realização do correto manejo e destinação adequada dos RCD, objetivando um menor impacto ambiental possível (FIEB, 2005). As etapas estabelecidas para o gerenciamento destes materiais passam basicamente pelas seguintes fases, como foi possível averiguar no livro gestão de resíduos sólidos da construção civil publicado pela FIEB (2005):

- Caracterização dos resíduos;
- Triagem do material, realizada pelo operador na origem;
- Acondicionamento;
- Transporte;
- Destinação para locais adequados ambientalmente, como processos industriais de reciclagem.

A segregação dos resíduos dentro do próprio canteiro se constitui como uma das etapas importantes no que tange a um bom gerenciamento. É importante frisar que a construção civil gera uma grande parcela de outros materiais, além de entulhos, tais como papel, papelão e plásticos. Os resíduos devem ser acondicionados em recipientes adequados a sua especificação, que lhe permitam também a sua separação. Para tanto, é recomendado o uso de recipientes resistentes e abertos, como bombonas e recipientes metálicos, utilizados em processos industriais e que podem ser reaproveitados para este uso, Figura 3.

Figura 3 - Recipientes destinados para o acondicionamento de RCD



Fonte: Autoria própria, 2019

2.6 RECICLAGEM DA FRAÇÃO MINERAL DE RCD

Uma das formas de minimizar os impactos da geração e deposição do grande volume de RCD é por meio da reciclagem dos entulhos, que constitui a fração mineral de resíduos. Esse processo gera muitos benefícios, principalmente em setores que demandam uma grande quantidade de matéria prima extraída da natureza, como é o caso da construção civil, onde cerca 20% a 50% do total consumido pelo homem é utilizado (FIEB, 2005). Entre esses benefícios estão à diminuição do volume depositado irregularmente na natureza, redução na extração de minerais e no consumo de energia demandada pelo processo. Dentro dos benefícios para a economia, essa ação coopera com a criação de empresas da iniciativa privada que objetivam realizar esse procedimento.

Contudo, essa fração corresponde aos resíduos de concreto, cerâmica vermelha, argamassa, entre outros, e constitui grande parte do volume gerado. A Resolução n° 307 do CONAMA (2002) define práticas de reciclagem voltada a esse tipo de materiais. Entre os métodos empregados estão a utilização como agregado e o desenvolvimento de aterros de RCD, este a fim de armazenar com de permitir a reciclagem futura. Todavia, na aplicação como agregados é possível obter agregado graúdo e miúdo.

Mehta e Monteiro (2014) afirmam que os agregados naturais e os reciclados apresentam uma gama de diferenças devido à quantidade de argamassa e a pasta de cimento aderida aos agregados naturais. No entanto, os agregados de concreto reciclado se mostram com maior taxa de absorção de água, superfície rugosa e maior taxa de porosidade.

Portanto, é necessária uma análise técnica, pois se o material que foi reciclado não atender aos padrões e desenvolvimentos exigidos, este não se torna sustentável, pois o único benefício neste caso é evitar o descarte inapropriado.

Desta forma, os agregados reciclados podem ser incorporados, como são analisados em algumas pesquisas, a quatro tipos de materiais da construção civil: argamassa, concreto, pavimentação e blocos de concreto. Esses materiais são utilizados geralmente em concreto e argamassa não estruturais, pavimentação de estradas rurais, controle de erosão, enchimento de fundações de construção, etc. A Tabela 2 apresenta uma síntese das principais características recorrentes de alguns produtos gerados com a reciclagem do RCD.

Tabela 2 - Principais materiais gerados a partir da reciclagem dos resíduos

Produto	Características
Areia Reciclada	Material proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto, apresentando dimensões máximas características inferiores a 4,8 mm.
Brita Reciclada	Dimensões máximas características inferiores a 39 mm, proveniente da reciclagem de concreto e bloco de concreto.
Bica Corrida	Dimensões máximas características de 63 mm.

Fonte: ABRECON, 2016

2.6.1 Usinas de reciclagem de RCD

As áreas onde ocorrem o processo de produção de agregados reciclados são comumente denominadas de usinas de reciclagem de RCC as quais são destacadas pela eficiência em reduzir os desperdícios de matéria-prima mineral na construção civil, tal como argumenta Melo (2011).

Estas usinas são compostas por equipamentos semelhantes aos utilizados nos processos de mineração. Dentre estes existem o alimentador do britador, o britador, correias de transporte, separadores magnéticos e posteriormente as peneiras. Em algumas recicladoras são encontrados cones de britagem e os moinhos de rolo, enquanto nas usinas de mineração de agregados são utilizados britadores de mandíbula e os de impacto (CUNHA, 2007).

Nestas usinas os materiais passam basicamente pelas seguintes etapas:

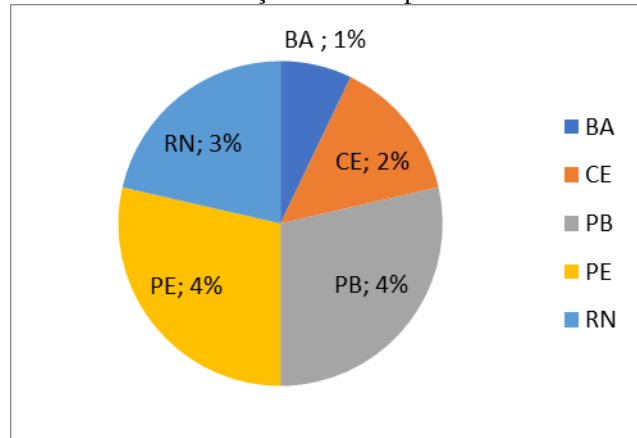
- Análise dos resíduos recebidos;
- Processo de triagem;
- Descontaminação;
- Manejo;
- Processamento (classificação, britagem, peneiração, rebitagem e transporte);
- Pilha de materiais, tais como brita corrida e reciclados peneirados;
- Estocagem;
- Expedição.

Os materiais que geralmente são reciclados pelas usinas são as seguintes parcelas das quais compõe o entulho:

- Alvenarias de blocos cerâmicos e de concreto;
- Lajes;
- Pisos;
- Argamassa de cal, cimento e mista, advinda de assentamentos e revestimentos;
- Fragmentos de pedra britada;
- Blocos, tijolos, tubos, lajotas para laje, etc.

Os agregados são reutilizados em materiais como argamassa de assentamento, emboço, contra piso, guias, entre outros. São Paulo é o estado brasileiro que possui a maior porcentagem de usinas de RCD, apresentando 54% segundo a ABRECON (2015), sendo o estado onde foi construída a primeira usina desse tipo no Brasil, instalada na cidade de Osasco.

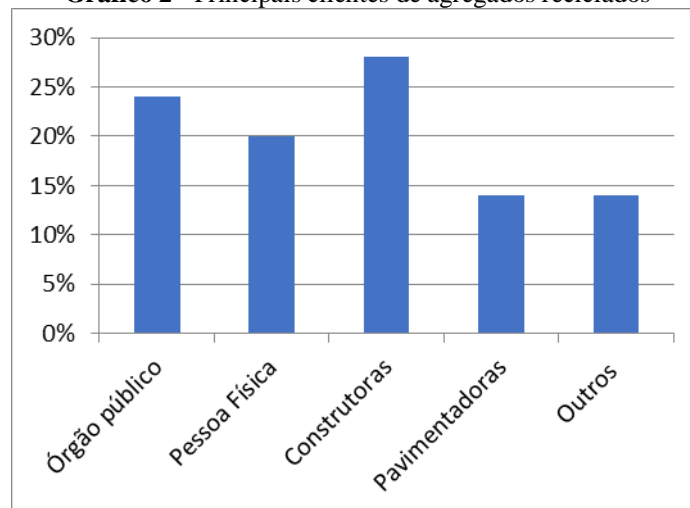
O Gráfico 1 apresenta um panorama acerca da quantidade desse tipo de usina nos estados nordestinos. Os valores estão relacionados a todos os estados brasileiros que possuem usinas deste tipo instaladas.

Gráfico 1 - Concentração de usinas por estados brasileiros

Fonte: Adap. ABRECON, 2015

Desta forma, como foi possível verificar no gráfico acima, a Paraíba, dentre os estados nordestinos, é o que apresenta uma maior porcentagem de usinas desse tipo instaladas, juntamente com o estado do Pernambuco.

Ainda segundo a ABRECON (2015), em seu relatório sobre pesquisa setorial das usinas de reciclagem no Brasil, a mesma apresenta um panorama acerca dos principais clientes de agregados reciclados, Gráfico 2.

Gráfico 2 - Principais clientes de agregados reciclados

Fonte: Adap. Abrecon, 2015

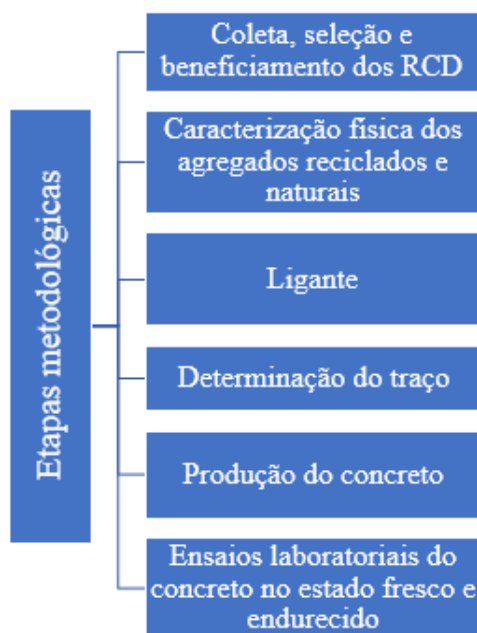
3 METODOLOGIA

A pesquisa experimental foi a metodologia adotada para realização do trabalho proposto. Todos os materiais utilizados para produção do concreto foram caracterizados (ensaiados e analisados) nos laboratórios de geotecnia e materiais da construção civil do IFPB, campus Cajazeiras.

Este tipo de pesquisa consisti na realização de uma abordagem científica e análise laboratorial, onde se há um controle sobre as variáveis. No objeto de estudo a variável fator água/cimento (A/C) permanece constante e as adições dos resíduos, uma outra variável, são variáveis de acordo com o tipo de resíduo.

Os procedimentos realizados para a concretização dos objetivos deste trabalho seguiram as etapas apresentadas no fluxograma, Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma etapas metodológicas



Fonte: Autoria própria, 2020.

3.1 COLETA, SELEÇÃO E BENEFICIAMENTO DOS RCD

Os resíduos destinados a esta pesquisa foram colhidos, de forma manual com auxílio de uma pá, em um local de deposição irregular na cidade de Cajazeiras-PB, onde é

armazenada uma grande quantidade de material em pilhas formadas por entulhos e outros resíduos, como PVC e papelão, vindos exclusivamente de construções e demolições, Figura 5.

Figura 5 - Local irregular de deposição de RCD na cidade de Cajazeiras – PB



Fonte: Autoria própria, 2019

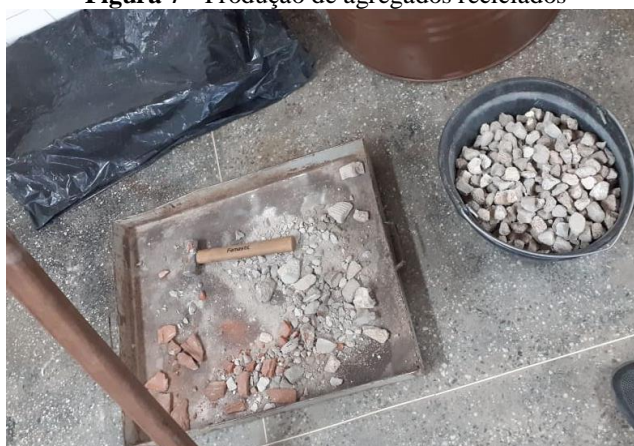
Os entulhos coletados passaram por um processo de triagem manual, com a finalidade de obter um material com formato e granulometria adequada a ser utilizado como agregado graúdo, especificamente como brita 19 mm. Os resíduos foram separados de acordo com a predominância do material que os originou, tais como os resíduos vermelhos, provenientes principalmente de blocos cerâmicos e telhas, e os resíduos cinzas, os quais possuem predominância cimentícia, como restos de argamassas e concreto, Figura 6.

Figura 6 - Agregados graúdos reciclados



Fonte: Autoria própria, 2019

O processo de beneficiamento dos RCD's incluiu técnicas semelhantes às comumente empregadas na aquisição de britas usuais. Porém, por falta de equipamentos adequados, os materiais foram quebrados de forma manual com o auxílio de uma marreta e depois peneirados para obter granulometria já mencionada, Figura 7.

Figura 7 - Produção de agregados reciclados

Fonte: Autoria própria, 2019

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS AGREGADOS RECICLADOS E NATURAIS

Todos os procedimentos utilizados para a caracterização dos agregados, tanto natural como reciclado, foram caracterizados em laboratórios específicos, seguindo suas respectivas normas atualizadas.

3.2.1 Agregados naturais

O agregado miúdo convencional utilizado na pesquisa foi uma areia média lavada de rio de módulo de finura 2,6 e massa específica de 2,59 g/cm³. Já o agregado graúdo possui módulo de finura 6,21, diâmetro máximo característico de 19 mm e massa específica de 1379 kg/m³. Os ensaios realizados para a caracterização dos agregados estão listados no Quadro 6.

Quadro 6 - Normas para a caracterização dos agregados convencionais

Caracterização dos Agregados Convencionais	
Ensaio	Normas
Granulometria	ABNT NBR NM 248:2003 / Agregados – Determinação da Composição Granulométrica.
Massa Específica (Areia)	ABNT NBR NM 52:2009 / Agregado Miúdo – Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente.
Massa Específica (Brita)	ABNT NBR NM 53:2009 / Agregado Graúdo – Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente e Absorção de Água.
Massa Unitária	ABNT NBR NM 45:2006 / Agregados – Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios.

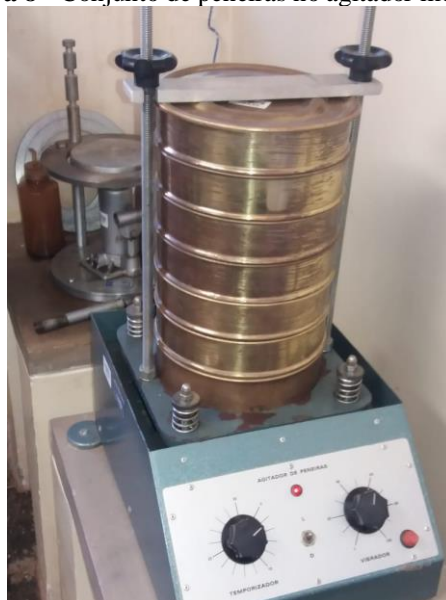
Fonte: Autoria própria, 2020

3.2.1.1 Granulometria

Para a realização do estudo da granulometria dos agregados foram seguidos os procedimentos estabelecidos pela NBR NM 248 (ABNT, 2003).

A granulometria foi realizada usando duas amostras de 300 g para areia e 1000 g para a brita, que passaram por um período de secagem em estufa a 105 °C por 24 h, esfriadas à temperatura ambiente e colocadas no conjunto de peneiras, 6,30 mm a 150 µm para agregado miúdo e 38 mm a 150 µm para agregado graúdo, para agitação mecânica e conseqüentemente permitir a separação e classificação dos diferentes tamanhos de grãos da amostra, Figuras 8 e 9. Após ensaio são determinados o módulo de finura (MF) e a dimensão máxima característica, bem como a curva granulométrica.

Figura 8 - Conjunto de peneiras no agitador mecânico



Fonte: Autoria própria, 2020

Figura 9 - Equipamentos e materiais utilizados no ensaio de granulometria



Fonte: Autoria própria, 2020

3.2.1.2 Massa Específica

Realizado segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009), para o ensaio de massa específica do agregado miúdo foi determinada a massa de 1 kg de agregado miúdo (500 g para cada determinação, no caso, duas), a amostra foi vertida em um recipiente e coberta com água e passou por um período de 24 h de repouso, após esse período o material foi seco à ação do ar, colocado em um molde de tronco cônico e foi compactado com 25 golpes até atingir à condição de saturado superfície seca, Figura 10. Por fim, colocou-se 500 g de material em um frasco que foi preenchido com água até a marca de 500 ml, o frasco com a mostra foi agitado com o intuito de eliminar as bolhas de ar, colocado em banho maria e após 1 h a areia foi retirada do recipiente e verificada a massa, Figura 11.

Figura 10 - Molde para compactação do agregado miúdo



Fonte: Autoria própria, 2019

Figura 11 - Material em banho maria



Fonte: Autoria própria, 2019

Para a caracterização do agregado graúdo a norma utilizada foi a NBR NM 53 (ABNT, 2009), a amostra de 3 kg de material foi preparada eliminando toda as partículas passante pela peneira de 4,75 mm por via seca, logo após todo o material foi lavado para eliminar o pó ou outro material da superfície. A amostra foi seca em estufa à $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ até atingir massa constante. Após a preparação da amostra, o agregado é pesado e submergido em água à temperatura ambiente por 24 ± 4 h. Logo depois desse período o agregado é retirado da água e envolvido um pano absorvente até que toda a água visível seja eliminada. Depois foi verificada a massa, colocado em recipiente aramado e submergido em água. Em seguida, a amostra tem a massa determinada em água, retirada e seca, à $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ até massa constante, e verificada novamente para conclusão do ensaio.

3.2.1.3 Massa Unitária

Os procedimentos para a análise da massa unitária dos agregados seguiram as etapas estabelecidas na NBR NM 45 (ABNT, 2006). Para isso foi utilizado um recipiente com volume de $10.238,7\text{ cm}^3$.

O ensaio foi realizado por dois métodos: Método A – Determinação da Massa Unitária no Estado Compactado e Método C - Determinação da Massa Unitária no Estado Solto. Para cada método foram feitas três determinações.

A amostra utilizada foi o dobro do volume do recipiente e passou por um período de 24 de secagem estufa a uma temperatura de 105°C .

Para o método A, o recipiente vazio teve a sua massa verificada e depois preenchido por três camadas de material, sendo cada camada adensada com 25 golpes, nivelado e determinada a massa com o material nele contido, Figura 12.

Figura 12 - Massa unitária compactada

Fonte: Autoria própria, 2019

Para o método C, o recipiente vazio teve sua massa verificada e preenchida com o agregado despejado a uma altura inferior a 50 mm, nivelado e novamente sua massa determinada com o material nele contido, Figuras 13 e 14.

Figura 13 - Ensaio de massa unitária

Fonte: Autoria própria, 2019

Figura 14 - Ensaio massa unitária

Fonte: Autoria própria, 2019

3.2.1.4 Agregados reciclados (RCD's)

O RCD possui módulo de finura 6,46, diâmetro máximo característico de 19 mm e massa específica de 663 kg/m³ para os resíduos vermelhos e para os resíduos cinza módulo de finura 6,68, diâmetro máximo característico de 19 mm e massa específica de 962 kg/m³. Os ensaios realizados para a caracterização dos agregados alternativos estão listados no Quadro 7.

Quadro 7 - Normas para caracterização dos agregados graúdos reciclados

Caracterização dos Agregados Reciclados	
Ensaio	Norma
Granulometria	ABNT NBR NM 248:2003 / Agregados – Determinação da Composição Granulométrica.
Massa Específica (Resíduo)	ABNT NBR NM 53:2009 / Agregado Graúdo – Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente e Absorção de Água.
Massa Unitária	ABNT NBR NM 45:2006 / Agregados – Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios.

Fonte: Autoria própria, 2020

Para a caracterização dos rejeitos foi utilizada a mesma metodologia para os agregados naturais, conforme explanado no subtítulo 3.2.1., Figura 15.

Figura 15 - Granulometria agregados reciclados



Fonte: Autoria própria, 2019

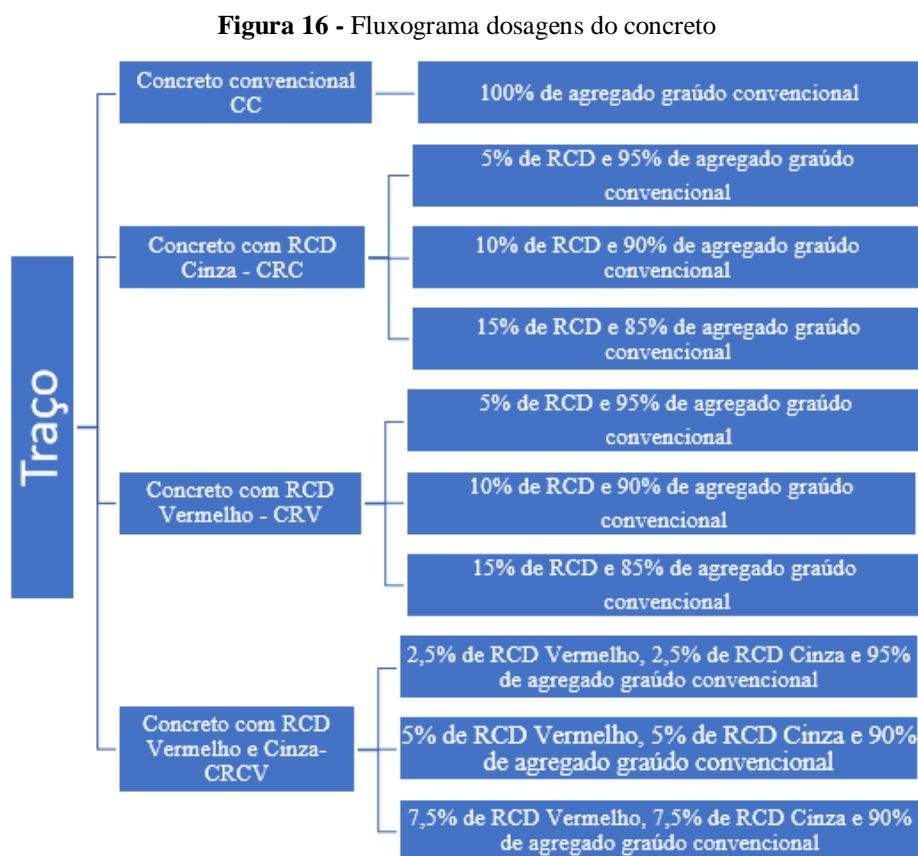
3.3 LIGANTE

O cimento utilizado foi do tipo CP II E – 32, por ser comumente utilizado em obras, ter diversas possibilidades de aplicação e por suas propriedades atenderem as estruturas de concreto.

3.4 DETERMINAÇÃO DO TRAÇO

A dosagem consiste no ato da mistura dos materiais do concreto, a fim de obter uma plasticidade adequada. Neste trabalho optou-se por calcular a dosagem do concreto a partir do método desenvolvido pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. O traço obtido após a dosagem foi 1:2,7:1,6:0,6 (cimento: areia: brita: a/c).

Para realização da pesquisa foram adotados 10 traços, em massa, onde o RCD foi incorporado como componente parcial, substituindo o agregado graúdo nas proporções apresentadas na Figura 16.

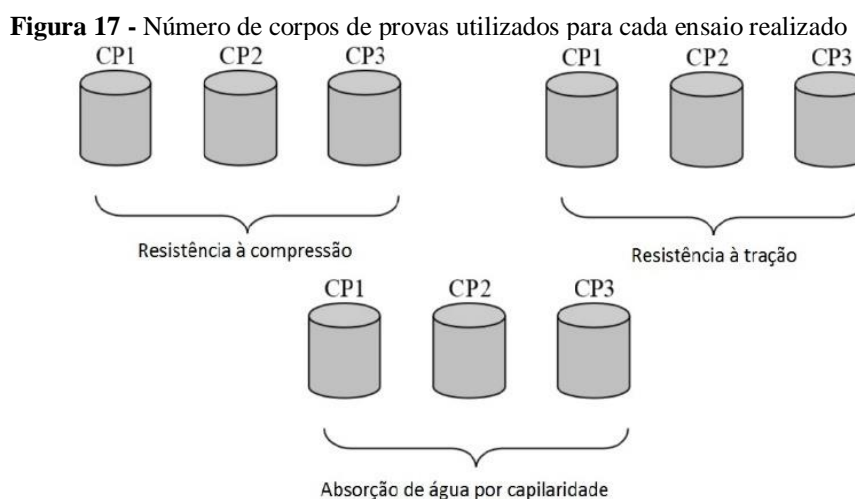


Fonte: Autoria própria, 2020

3.5 PRODUÇÃO DO CONCRETO

Os concretos produzidos foram compostos pelos materiais de acordo com o traço calculado, e os procedimentos adotados foram os normalmente empregados no laboratório de materiais da construção civil do IFPB, seguindo a norma NBR NM 5738 (ABNT, 2016) que estabelece os procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova.

Para cada dosagem, classificada a partir do tipo de agregado e porcentagem de substituição, foram produzidos aproximadamente nove corpos de provas cilíndricos com dimensão de 10 cm x 20 cm, sendo três para realização do ensaio de resistência à compressão, três para resistência à tração e três para absorção de água por capilaridade, Figura 17.



Fonte: Adap. Carrijo, 2005

O concreto foi produzido de forma mecânica através do uso da máquina de tambor rotativo, a betoneira.

Para a sequência da mistura dos materiais foi seguido a orientação de Ambrozewicz (2012): parte da água, brita, cimento, areia e restante da água.

Em seguida, atendendo aos procedimentos estabelecidos pela NBR NM 5738: (ABNT, 2016), foram realizadas as moldagens dos corpos de prova, onde foi aplicado primeiramente desmoldante nos moldes, para preenchimento com concreto e por fim adensamento a partir do uso de uma haste metálica, compactando o material em duas camadas com 25 golpes, Figuras 18 e 19.

Figura 18 - Moldagem dos corpos de prova



Fonte: A autoria própria, 2019

Figura 19 - Corpos de Prova após o adensamento



Fonte: A autoria própria, 2019

Após cerca de 24 horas os corpos de provas foram desmoldados e submetidos ao processo de cura, submersa em água saturada de cal, até a data para a realização dos ensaios descritos, que para este trabalho foram realizados aos 28 dias após o processo de cura, Figura 20.

Figura 20 - Corpos de prova

Fonte: Autoria própria, 2019

3.6 ENSAIOS LABORATORIAIS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

3.6.1 Ensaio de consistência, *Slump Test*

Após a mistura na betoneira, o material foi imediatamente submetido ao ensaio de consistência, denominado de *slump test*, ou ainda como abatimento do tronco de cone. O ensaio foi realizado para todas as misturas de concreto, seguindo os procedimentos da NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Após se obter a amostra necessária ao teste, a amostra de concreto é lançado em um molde tronco-cônico, sobre um local plano e de preferência estanque (não sobre o solo), com as seguintes dimensões: diâmetro inferior de 20 cm, diâmetro superior de 10 cm e altura de 30 cm (com a maior base voltada para baixo). O lançamento do concreto foi feito em três camadas, sendo cada camada compactada com 25 golpes com uma haste de 16 mm de diâmetro. Passado de cinco a dez segundos depois, o molde foi retirado lentamente, sendo posto agora com a base menor voltada ao chão. Por fim foi comparada a diferença de altura entre o molde e o tronco de cone de concreto fresco, determinando assim o abatimento ou *slump test*, em centímetros (cm), Figuras 21 e 22.

Figura 21 - Realização do ensaio de consistência



Fonte: Autoria própria, 2019

Figura 22 - Ensaio de consistência



Fonte: Autoria própria, 2019

3.7 ENSAIOS LABORATORIAIS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

3.7.1 Massa específica

Para a determinação da massa específica do concreto no estado endurecido, os corpos de provas que foram submetidos ao ensaio de resistência por compressão tiveram sua altura e diâmetro aferido por meio do uso de um paquímetro digital, além da verificação da massa, determinada com uma balança digital, Figuras 23 e 24.

Figura 23 – Verificação da massa do corpo de prova



Fonte: Autoria própria, 2019

Figura 24 - Determinação da altura do corpo de prova



Fonte: Autoria própria, 2019

Desta forma, com a obtenção dos resultados foi realizada a relação entre a massa e o volume a fim de determinar a massa específica. Além disso, para cada dosagem três determinações foram realizadas objetivando uma média representativa.

3.7.2 Ensaio de resistência a compressão axial

Para a análise da resistência à compressão foram seguidas as recomendações estabelecidas pela norma NBR 5739 (ABNT, 2018). Os ensaios foram realizados para os corpos de prova cilíndricos nas idades de rompimento aos 28 dias. Para tanto, foi efetuada a

média dos três valores de resistência obtido para cada dosagem. O carregamento foi aplicado de forma contínua com uma velocidade de 40 kgf/s até a ruptura do mesmo, Figuras 25 e 26.

Figura 25 – Rompimento dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria, 2019

Figura 26 - Corpo de prova rompido à compressão



Fonte: Autoria própria, 2019

3.7.3 Ensaio de Tração por compressão diametral

Para a concretização do ensaio foi seguida a normatização estabelecida pela NBR 7222 (ABNT, 2011) a qual preconiza os procedimentos para a determinação da resistência à tração por compressão diametral para corpos de provas cilíndricos. O corpo de prova foi colocado de forma que o plano axial definido por geratrizes diametralmente opostas, que devem receber o carregamento, coincidissem com eixo de aplicação de carga, Figuras 27 e 28.

Figura 27 - Ensaio à tração por compressão diametral



Fonte: Autoria própria, 2019

Figura 28 - Seção transversal do corpo de prova rompido



Fonte: Autoria própria, 2019

3.7.4 Absorção de água por capilaridade

Após os 28 dias de cura, os corpos de prova foram submetidos a realização do ensaio de absorção de água por capilaridade seguindo as normatizações e procedimentos recomendados pela NBR 9779 (ABNT, 2012), Figura 29. Para este ensaio foram moldados 3 corpos de provas para cada dosagem estabelecida.

Figura 29 - Ensaio de absorção por capilaridade



Fonte: Autoria própria, 2019

Foi determinado a massa do corpo de prova ao ar e logo após o mesmo foi para estufa à temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, até constância de massa. Após esse período foram retirados e resfriados para a realização da seguinte etapa que é a imersão parcial dos corpos de prova em água. Para isto os corpos de prova foram posicionados nos suportes e preenchidos com água de modo que o nível d'água permaneça constante a 5 ± 1 mm acima de sua face inferior.

Durante o ensaio, foi determinado a massa dos corpos de prova com 3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água, onde foram previamente enxugados com pano úmido. Finalizada determinação, as amostras eram imediatamente retornadas ao recipiente de ensaio. Após a última etapa, os corpos de prova foram rompidos por compressão diametral, conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011), de modo a permitir a anotação da distribuição da água no seu interior, Figura 30.

Figura 30 - Verificação da lâmina molhada



Fonte: Autoria própria, 2019

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no desenvolvimento das etapas experimentais deste trabalho foram analisados comparando-se os valores determinados para o concreto composto com agregado natural e os concretos compostos por agregados reciclados do tipo vermelho e cinza e ambos resíduos. Para isso, procurou-se utilizar os conceitos apresentados no desenvolvimento bibliográfico deste trabalho, bem como uma comparação com os resultados obtidos em outras pesquisas e com as características dos agregados reciclados.

4.1 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Os Quadros 8 e 9 apresentam os resultados da caracterização dos agregados natural e reciclado.

Para os agregados graúdos a massa específica dos reciclados são mais leves que o agregado natural, com 1810 kg/m^3 , para os cinzas, e 1880 kg/m^3 , para o vermelho, já para o agregado natural 2780 kg/m^3 . Essa característica leva a concluir que os reciclados de RCD apresentam porosidade elevada e menor densidade, influenciando diretamente na massa específica do concreto, tendo em vista que os agregados representam, de acordo com Bauer (2016), cerca de 80% da massa do concreto. Conforme o Gráfico 3, as curvas granulométricas apresentam-se bem próximas umas das outras, o que já era esperado devido ao processo de beneficiamento que foi realizado. Em relação a granulometria, ambos os materiais apresentaram dimensão máxima característica de 19 mm, como observado no Gráfico 3, uma vez que todas as curvas estão bem próximas umas das outras. Esse fato está relacionado principalmente ao processo de beneficiamento que foi realizado.

O agregado miúdo apresentou massa específica de 2590 kg/m^3 , sendo considerado normal, granulometria com dimensão máxima característica de 4,75 mm e módulo de finura de 2,60, sendo classificada como uma areia média. O Gráfico 4 demonstra que a areia, baseado na sua curva granulométrica, se encontrar na zona ótima, entre os limites inferior e o limite superior, desta forma podendo ser utilizada sem nenhum problema para a mistura do concreto.

Quadro 8 - Resultados caracterização dos agregados naturais

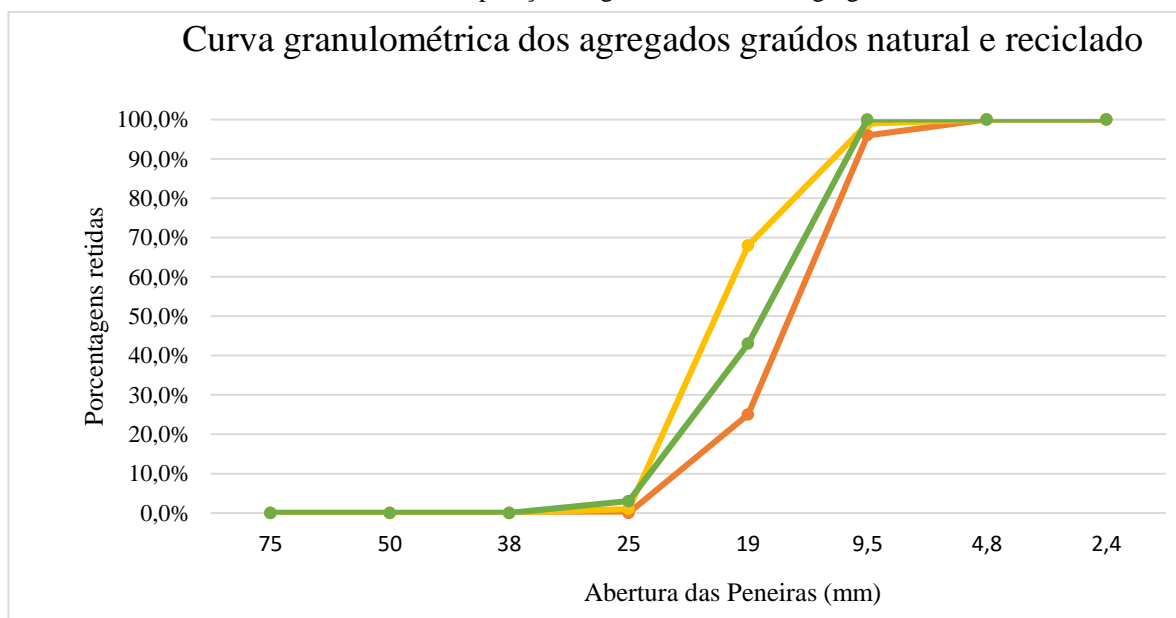
Caracterização do Agregados Natural			
Ensaio		Agregado Miúdo	Agregado Graúdo
Massa Específica (d_3)		2590 kg/m ³	2780 kg/m ³
Massa Unitária (ρ_{ap})	Estado Solto	1514 kg/m ³	1379 kg/m ³
	Estado Compactado	1700 kg/m ³	1510 kg/m ³
Granulometria	Módulo de Finura	2,60 (areia média)	6,21
	Dimensão Máxima Característica	4,75 mm	19 mm

Fonte: Autoria própria, 2020

Quadro 9 - Resultados caracterização dos agregados reciclados

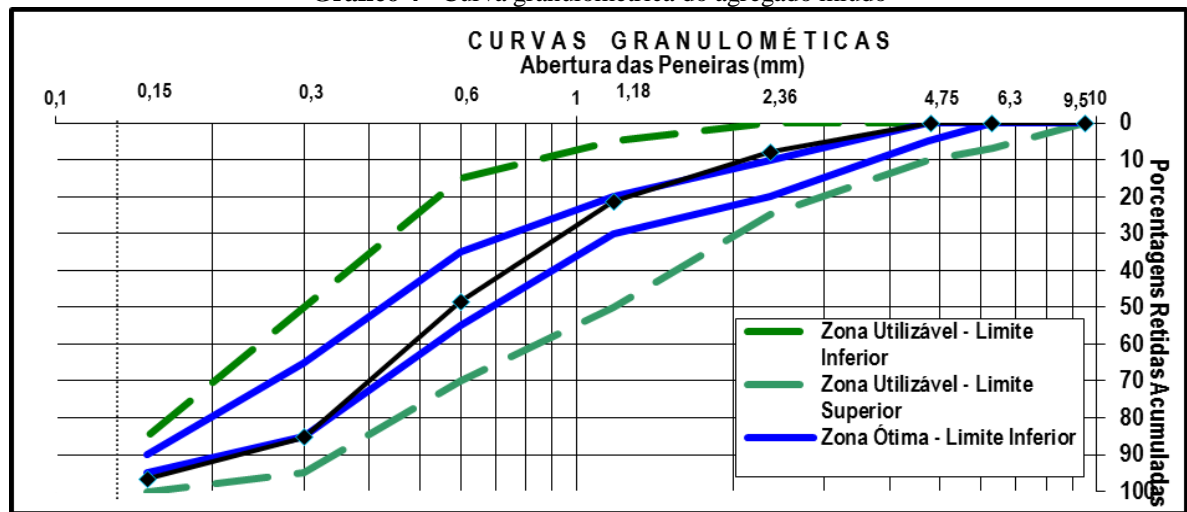
Caracterização do Agregados Reciclados			
Ensaio		RCD Cinza	RCD Vermelho
Massa Específica (d_3)		1810 kg/m ³	1880 kg/m ³
Massa Unitária (ρ_{ap})	Estado Solto	962 kg/m ³	663 kg/m ³
	Estado Compactado	1087 kg/m ³	1025 kg/m ³
Granulometria	Módulo de Finura	6,68	6,46
	Dimensão Máxima Característica	19 mm	19 mm

Fonte: Autoria própria, 2020

Gráfico 3 - Comparação da granulometria dos agregados

Fonte: Autoria própria, 2020

Gráfico 4 - Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autoria própria, 2020

4.2 RESULTADO DA CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

4.2.1 Ensaio de consistência, *Slump test*

Em todas as dosagens realizadas foram verificadas a trabalhabilidade do concreto produzido a partir do abatimento do tronco de cone. Os resultados estão apresentados no Quadro 10.

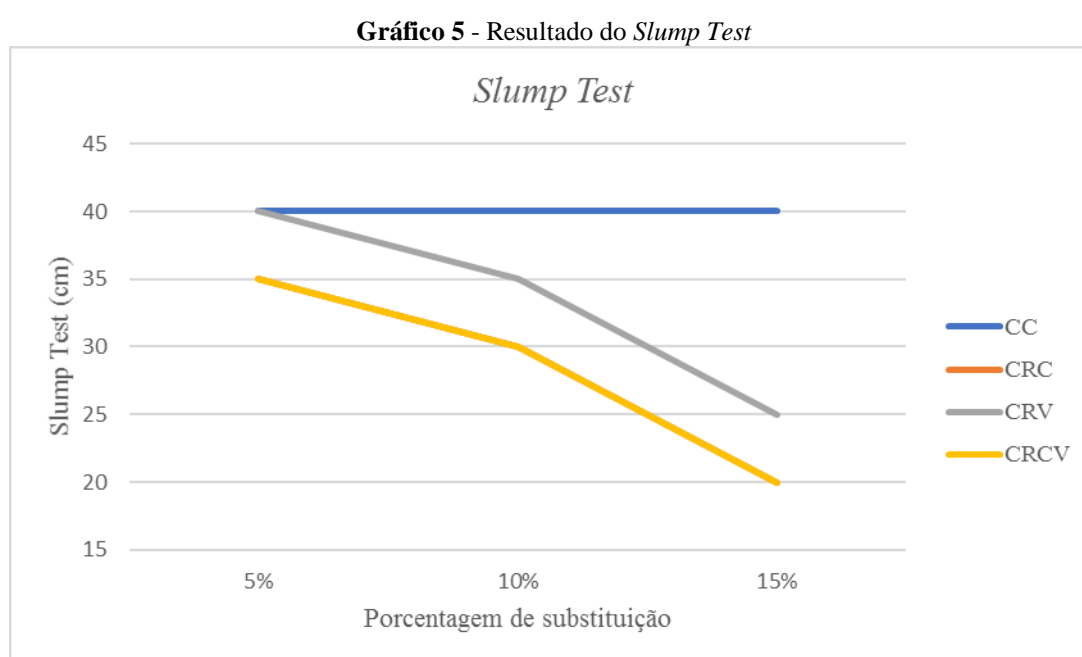
Quadro 10 - Resultado do ensaio *Slump Test*

<i>Slump test</i> (mm)	
Traço	Resultados
CC	40
CRC5	35
CRC10	30
CRC15	20
CRV5	40
CRV10	35
CRV15	25
CRCV5	35
CRCV10	30
CRCV15	20

Fonte: Autoria própria, 2020

Como observado no Gráfico 5, houve uma redução na consistência de todos concretos reciclados em comparação ao concreto convencional. Para os concretos em que a adição foi o RCD cinza e ambos rejeitos, a redução foi de 12,5% para CRC5 e CRCV5, 25% para CRC10 e CRCV10 e 50% para o CRC15 e CRCV15. Já para os concretos com adição de RCD vermelho, o CRV5 não obteve perda de consistência, tendo decréscimo de trabalhabilidade somente o CRV10 e CRV15 de, respectivamente, 12,5% e 37,5%.

A perda de trabalhabilidade foi menor para os concretos que foram introduzidos somente RCD's vermelhos, CRV5, CRV10 e CRV15, bem como para o CRC5 e maior para os CRC15 e CRCV15.



Fonte: Autoria própria, 2020

A justificativa para tal fenômeno é que os rejeitos incorporados na mistura do concreto possuem uma maior porosidade e, portanto, absorvem mais água que os agregados convencionais.

O fato de os agregados reciclados serem mais porosos e mais secos, principalmente as cinzas, devido a quantidade de argamassa aderida ao mesmo, eles acabam por retirar da mistura uma parte da água que seria usada no processo do cimento, esse fato leva a uma queda significativa da trabalhabilidade na composição (CABRAL, 2007). Como é possível verificar neste trabalho, na medida que o teor de substituição aumenta a uma diminuição na consistência. Contudo, durante a preparação do concreto foi possível verificar uma massa bem mais seca ao utilizar os agregados reciclados.

Além disso, Cabral (2007) ainda afirma que o formato dos agregados reciclados, os quais geralmente apresentam formas angulares e geralmente ásperas, como é o caso dos agregados cinzas, influem na trabalhabilidade, do contrário os agregados naturais apresentam superfície mais lisa e formas mais arredondadas. Do mesmo modo, Tenório (2007) afirma que quanto mais lamelar ou angular for a forma do agregado, maior a porosidade e a textura superficial mais rugosa mais prejudicial serão para a consistência do concreto.

4.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.3.1 Massa específica

Os concretos produzidos com agregados reciclados em todas as suas porcentagens de substituição apresentaram densidade compreendida no intervalo citado anteriormente, como é destacado no Quadro 11, sendo, portanto, classificados como concretos de massa específica normal.

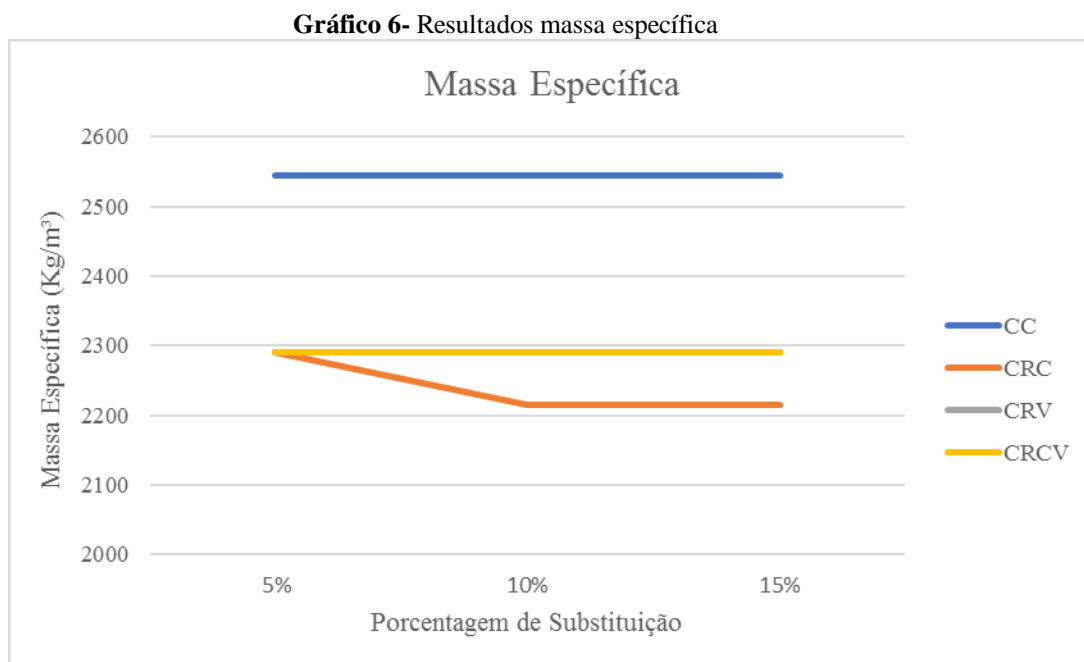
Quadro 11 - Resultado da massa específica

Massa específica do concreto (kg/m³)	
Traço	Resultados
CC	2548
CRC5	2294
CRC10	2218
CRC15	2215
CRV5	2301
CRV10	2290
CRV15	2284
CRCV5	2304
CRCV10	2299
CRCV15	2278

Fonte: Autoria própria, 2020

Os concretos produzidos com agregados reciclados quando comparados ao concreto de referência apresentaram uma densidade inferior a este, isso é devido ao fato de os agregados reciclados serem mais densos, principalmente os valores para os agregados cinzas, pois devido a quantidade de argamassa aderida ao mesmo o agregado torna-se mais poroso,

Gráfico 6. Contudo, o fato de a porcentagem de substituição ser baixa, esses valores são bem próximos entre si.



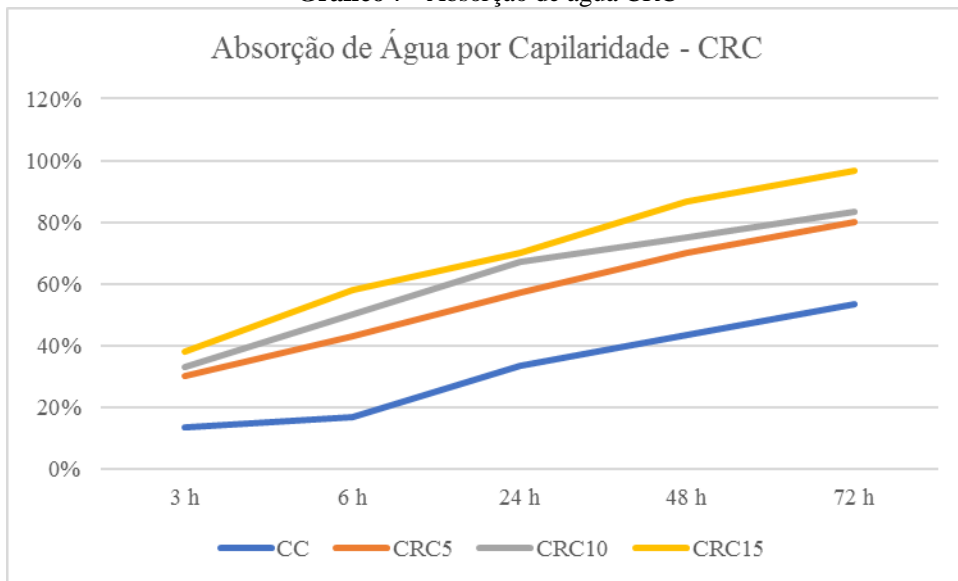
Fonte: Autoria própria, 2020

As reduções para os concretos de resíduos cinzas foram de ordem de 10% para CRC5 e 13% para CRC10 e CRC15. Os concretos com rejeitos vermelhos e com incorporação de ambos resíduos, obtiveram decréscimos de 10% para todos os traços, CRV5, CRV10 e CRV15, CRCV5, CRCV10 e CRCV15. No entanto, a redução na massa específica em praticamente todos os traços chegou a 10%.

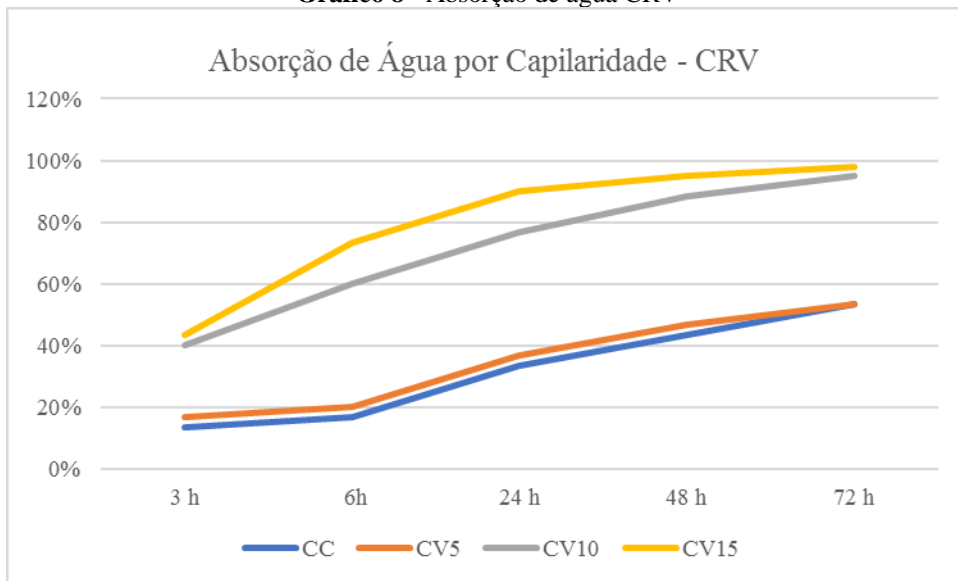
Portanto, as amostras que tiveram menor desempenho foram os CRC10 e CRC15, tendo em vista que tiveram mais perda de densidade, tornando-se mais leve, o que acarreta a uma redução nas características mecânicas do material devido a quantidade de poros.

4.3.2 Absorção de água por capilaridade

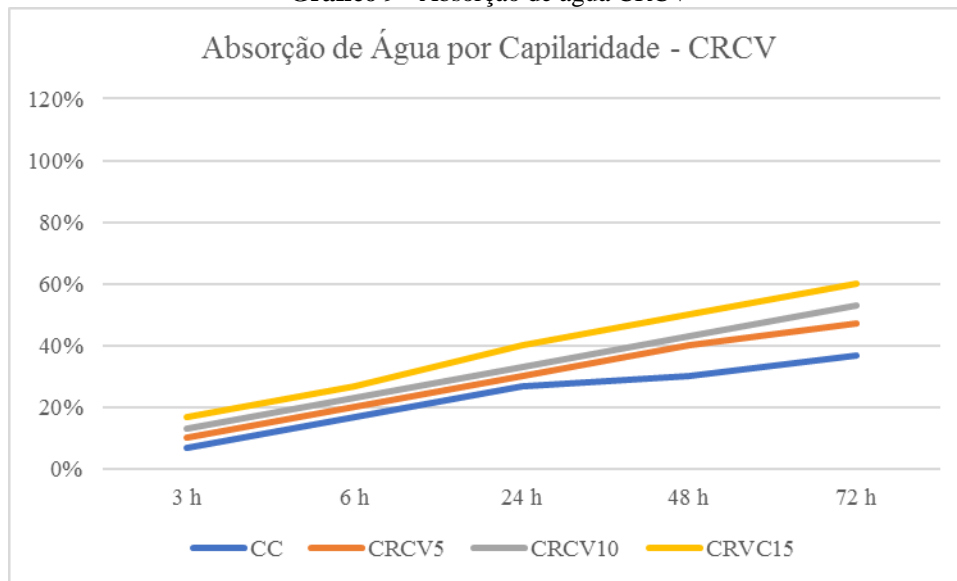
Houve um aumento na absorção de água por capilaridade em todos os concretos com incorporação de resíduos em relação aos convencionais, como demonstrado nos Gráficos 7, 8 e 9.

Gráfico 7 - Absorção de água CRC

Fonte: Autoria própria, 2020

Gráfico 8 - Absorção de água CRV

Fonte: Autoria própria, 2020

Gráfico 9 - Absorção de água CRCV

Fonte: Autoria própria, 2020

Para as leituras realizadas as 72 h, o aumento de absorção de água para os concretos com resíduos cinzas foi de 34% CRC5, 36% CRC10 e 45% CRC15. Os concretos com resíduos vermelhos obtiveram ganhos de absorção de 27% CRV5, 44% CRV10 e 46% CRV15. Os concretos com incorporação de ambos resíduos tiveram o aumento de absorção na ordem de 21% CRCV5, 30% CRCV10 e 38% CRCV15.

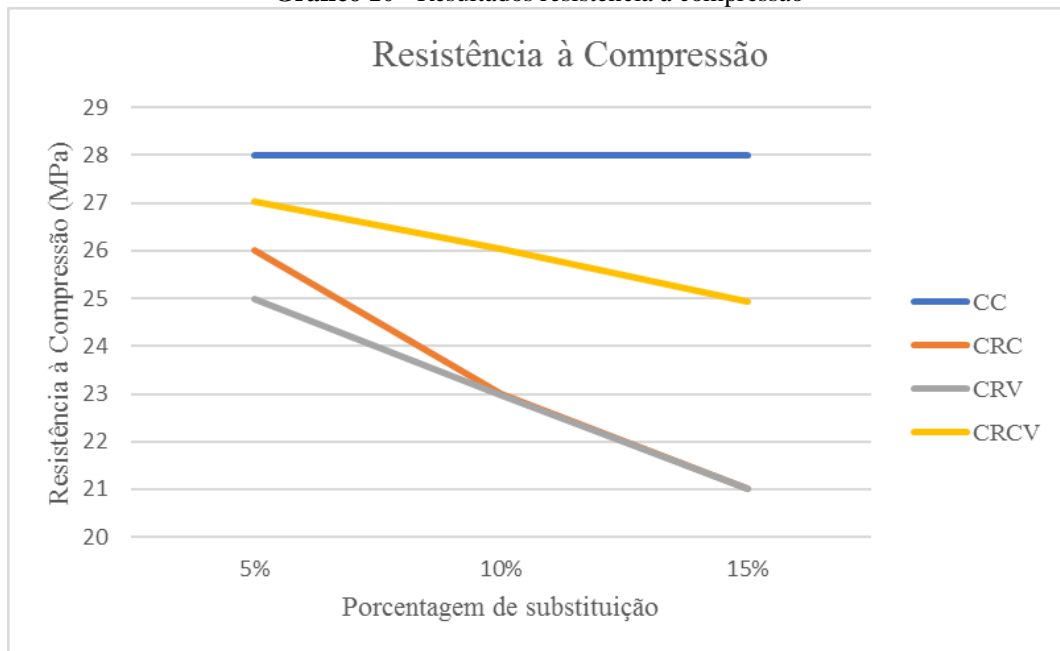
Todos os traços analisados apresentam um aumento na absorção de água a partir do uso do RCD como agregado, ganhando destaque os traços com resíduos vermelhos.

A explicação para o aumento na absorção de água para os concretos produzidos com agregados de RCD é o fato que estes são mais porosos que a brita natural.

Desta forma, as amostras que apresentaram menor desempenho foram os CRC15 e CRV15 e a que se mostrou com maior desempenho foi o CRCV5.

4.3.3 Resistência à compressão axial

A inserção de RCD's no concreto diminuiu a resistência à compressão quando comparado ao concreto tradicional, Gráfico 10. A incorporação dos rejeitos cinzas decresceram tal característica em 7% CRC5, 18% CRC10 e 25% CRC15. Os resíduos vermelhos reduziram 11% CRV5, 18% CRV10 e 25% CRV15. Ambos RCD's contribuíram para perda de resistência de 3,5% CRCV5, 7% CRCV10 e 11% CRCV15.

Gráfico 10 - Resultados resistência à compressão

Fonte: Autoria própria, 2020

Segundo Gonçalves (2001) a perda de resistência pode ser explicada devido os agregados reciclados de concreto absorverem mais água, isso leva a uma redução na relação água/cimento, melhorando as propriedades através de uma cura interna na zona de transição.

Percebe-se nos gráficos que à medida que a porcentagem de substituição aumenta, a tendência da resistência a compressão é ter uma queda significativa. Essa diminuição de resistência está ligada a qualidade do agregado reciclado que foi utilizado. A natureza do agregado torna-se uma explicação para a redução da resistência, pois a brita por ser granítica apresenta resistência mecânica superior ao RCD (FERNANDES, 2015). Além disso, o controle tecnológico é um fator determinante para os resultados finais, sem o controle dos resíduos que estarão compondo o RCD, os resultados tendem a variar de acordo com o material reciclado (SEGATTO, 2017).

Desta forma, nota-se que a natureza mineralógica do material altera significativamente a resistência do material, uma vez que houve bastante redução ao comparar o concreto produzido com agregado vermelho e o concreto contendo agregado cinza.

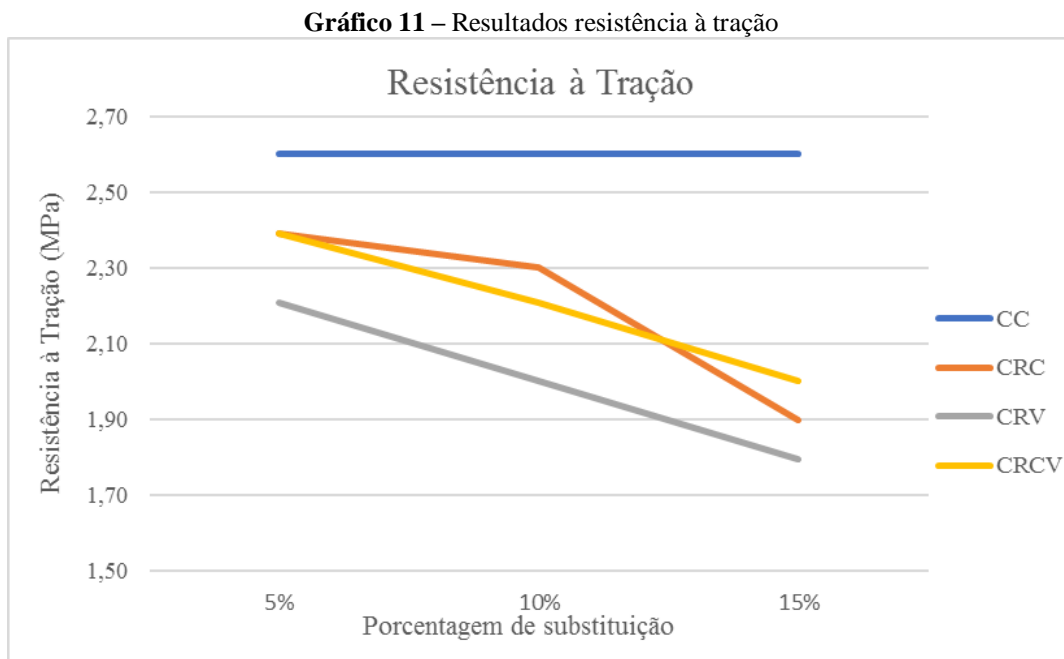
De acordo com as informações apresentadas na maioria dos trabalhos publicados sobre concreto com agregados reciclados, é recomendado a substituição parcial dos naturais por estes, o que garante a viabilidade técnica e as características mecânicas do concreto. Essa limitação na porcentagem de substituição diminui a variabilidade das propriedades e desta

forma os limites que estabelecem as normas vigentes podem ser respeitados (FERNANDES, 2015).

Portanto, a partir dos dados analisados conclui-se que as amostras que apresentaram menor desempenho foram as CRC15 e CRV15 e a que se mostrou com maior desempenho foi a CRCV5.

4.3.4 Resistência à tração por compressão diametral

Analisando o Gráfico 11, observa-se que os resultados obtidos em relação a resistência à tração por compressão diametral dos concretos reciclados foram menores que os comparados ao concreto convencional. Os valores obtidos foram de 8% CRC5, 11,5% CRC10 e 27% CRC15 para os concretos com resíduos cinzas, 15% CRV5, 23% CRV10 e 31% CRV15 para os concretos com resíduos vermelhos e 8% CRCV5, 15% CRCV10 e 23% CRCV15 para concreto com incorporação de ambos resíduos.



Fonte: Autoria própria, 2020

Os resultados demonstram que os valores se mantiveram em média bem próximos ao obtido para o concreto de referência, havendo uma variação significativa no concreto produzido com a mistura dos dois tipos de RCD. Novamente, à medida que a porcentagem de substituição aumenta a tendência é a ocorrência gradual da queda na resistência, confirmando o que aborda outros trabalhos que tratam do assunto.

Portanto, as dosagens que apresentaram menor desempenho foram as CRC15 e CRV15 e as que apresentaram maior desempenho foram as CRC5 e a CRCV5.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho objetivou analisar as principais propriedades mecânicas do concreto, tais como resistência a compressão e a tração, ao substituir parcialmente os agregados naturais por agregados produzidos a partir do beneficiamento de resíduos sólidos da construção civil. Os principais resultados desse estudo nos nortearam as seguintes conclusões:

- As amostras que obtiveram maior absorção de água e, portanto, menor desempenho devido ao aumento da porosidade, foram os CRCV15 e CRC15, apresentando 45% e 46% de absorção respectivamente, após 72 h de ensaio;
- Em relação a densidade, as amostras que se mostraram com menor desempenho foram os CRC10 e CRC15, as quais apresentaram 13% de redução de massa específica, tendo em vista que concretos mais leves induzem a uma menor redução de resistência;
- Os resultados obtidos para a resistência à compressão demonstram que as amostras CRC15 e CRV15, que tiveram redução de resistência na ordem de 25%, se apresentaram com menor desempenho, e a amostra CRCV5 se apresentou com melhor desempenho, obtendo uma redução de resistência de apenas 3,5%;
- Para a análise da resistência à tração por compressão diametral, os resultados demonstram que as amostras CRC5 e CRCV5 apresentaram melhor desempenho, com uma redução de resistência de 8% para ambas, enquanto que as amostras CRC15 e CRV15 se caracterizam com o menor desempenho, apresentando porcentagem de redução na ordem de 27% e 31% respectivamente;
- Os resultados do presente estudo demonstram a viabilidade de substituir até 10% da fração natural de agregado graúdo por agregados reciclados sem prejuízo significativo a resistência mecânica do concreto.

Diante disso, um dos principais fatores para um bom desempenho do concreto é a escolha do resíduo e o eficiente processo de britagem, visto que não é recomendado a partir deste estudo o uso de agregados com formato laminar e que sejam exclusivamente de natureza mineralógica cimentícia, tendo em vista que estes são mais propensos a absorver água e portanto mais porosos. Desta forma, o estudo pode contribuir para a elaboração de normas que visem possibilitar o uso de agregados reciclados visando reduzir os impactos ambientais provindos da geração de RCD.

É recomendada a avaliação de outras propriedades do concreto como, por exemplo, a durabilidade e a massa específica no estado fresco.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo, p. 74. 2017. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso 20 de ago. 2019.

ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. **Programa setorial 2014/2015**. Disponível em: https://abrecon.org.br/pesquisa_setorial/. Acesso em 05 de jul. de 2019

ALMEIDA, Luiz Carlos de. Concreto: estrutura IV - concreto armado. 20 ago. 2002, 20 dez. 2002. 24 p. Notas de Aula.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção**: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório. São Paulo: PINI, 2012.

ARCANJO, S. ; FERNANDES, A. L. T. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba -MG. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia , p. 333 - 344, maio/ago 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sn/v24n2/12.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados – Terminologias**. Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26: Agregado - Amostragem**. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro. 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro. 2006

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregados miúdo- Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 9833: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.** Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro. 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 35: Agregados leves para concreto estrutural – Especificação.** Rio de Janeiro, 1995

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção 1.** 5°. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. I, 2016.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS.** Lei federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 03 ago. de 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº. 307, de 02 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 05 de jul./2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acesso em: 10 ago. 2019.

BLUMENSCHNEIN, R. N. **Manual técnico: gestão de resíduos sólidos em canteiros de obras.** Brasília: SEBRAE/DF, 2007. 48p. Disponível em: <http://bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br/services/e-books/Manual%20T%20C%20A9cnico%20-%20Gest%20C%20A3o%20de%20Res%20C%20ADduos%20S%20C%20B3li dos%20em%20Canteiros%20de%20Obras.pdf> Acesso em 30 jun. 2019.

CABRAL, E. B. et al. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. **Cerâmica** **55**, p. 448 - 460, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v55n336/16.pdf>. Acesso em: 18 Agosto 2019.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** Tese apresentada à escola de engenharia de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor em ciência da engenharia ambiental (2007).

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos da construção e demolição no desempenho mecânico do**

concreto. Tese (mestrado em engenharia civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005, p. 146.

COUTO, A. S. et al. O CONCRETO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO. **Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v. 1, n. 17, p. 49-58, out. 2013.

CUNHA, A. **Resíduos da construção civil- análise de usinas de reciclagem.** Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Civil Arquiteura e Urbanismo de Campinas. Campinas/SP, p. 187. 2007.

DURAN, P.; FRACARO, D. **Verificação das propriedades básicas do concreto industrializado fornecido em embalagem de 30kg.** Trabalho de conclusão de curso. Curso superior tecnologia do concreto. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba/PR, p. 64. 2011.

FERNANDES, C. M. **A utilização de resíduos da construção civil e demolição - RCD - como agregado para o concreto.** Trabalho de conclusão de curso. Curso de engenharia civil. UNIFOR- MG. Formiga/MG, p. 68. 2015.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA BAHIA- FIEB. **Gestão de resíduos na construção civil: redução, reutilização e reciclagem.** Salvador: Sistema FIEB, 2006. Disponível em: http://www.fieb.org.br/Adm/Conteudo/uploads/Livro-Gestao-de-Residuos_id_177__xbc2901938cc24e5fb98ef2d11ba92fc3_2692013165855_.pdf. Acesso em 29 set. 2019

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA BAHIA- FIEB. **Gestão de resíduos na construção civil: redução, reutilização e reciclagem.** Salvador/BA: [s.n.], 2005. Disponível em: <http://www.fieb.org.br/bancafiieb/detalhe/gestao-de-residuos-na-construcao-civil-reducao-reutilizacao-e-reciclagem/177>. Acesso em: 29 ago. 2019.

FORMOSO, C. T.; CESARE, C. M.; LAYELME, E. M.; SOIBELMAN, L. **As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor.** Porto Alegre, UFGRGS, 1996

GOMES, L. C. **Estudo do sistema de lajes com fôrmas de aço incorporada empregando concreto estrutural leve.** Tese (mestrado em engenharia de estruturas), Escola de engenharia da UFMG. Belo Horizonte, p. 165. 2001.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais.** Tese (mestrado em engenharia de estruturas). Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2001.

GEUS, L. M.; GARCIAS, C. M. Gestão de resíduos de construção em edificações de grande porte na cidade de ponta grossa. **Revista de engenharia e tecnologia.** v. 6, n 2, p. 124-139, 2014.

IBRACON. Concreto: Material construtivo mais consumido no mundo. **Revista Concreto e Construções**, São Paulo - SP, v. 53, p. 01-78, Jan. - Fev. 2009. Disponível em: http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf. Acesso em: 14 ago. 2019.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico: resultados preliminares**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>. Acesso em: 07 jan. 2020.

LEVI, T. Os cinco maiores erros das usinas de reciclagem de entulho. **Site da Abrecon**, 2017. Disponível em: <https://abrecon.org.br/os-cinco-maiores-erros-das-usinas-de-reciclagem-de-entulho/>. Acesso em: 18 set. 2019.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concreto**. Dissertação de mestrado. Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 240. 1999.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2°. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p.

MELO, A. V. S. **Diretrizes para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de resíduos da construção civil**. 232 f. Salvador, 2011. Dissertação (Mestrado em engenharia Ambiental Urbana) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011

MORAND, G. **Estudo das principais aplicações de resíduos de obras como materiais de construção**. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia civil. Escola politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro , p. 104. 2016.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficinas de Texto, 2014.

OH, D. Y.; GONÇALVES, V. C.; MIKOS, W. L. **Análise da situação de destinação dos resíduos sólidos oriundos da construção civil em Curitiba e Região Metropolitana**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção ENEGEP, 2003. Ouro Preto, 2003.

PEDROSA, F. F. et al. Análise sobre a geração e destinação de RCD em canteiros de obras na cidade de cajazeiras-pb. **Anais do Connepi 2018**, Recife/PE, 2018. Disponível em: <https://dados.ifpe.edu.br/dataset/anais-connepi-2018/resource/bbffd467-2c73-4098-8097-e4c686e0b1bf>. Acesso em: 14 Agosto 2019.

PINTO, P. Resíduos da construção civil – nova legislação permite rápido avanço para normas técnicas e novas soluções. Artigos Técnicos. **I & T GESTÃO DE RESÍDUOS**. [S.l.]. 2015. Disponível em: https://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/RCD_Nova_Legislacao.pdf. Acesso em: 14 Agosto 2019.

PNUMA. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza-síntese para tomadores de decisão**. Brasília-DF. 2011.

SCOBAR, R. L. **Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida**. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, p. 48. 2016.

SEBRAE / RS. **Método de intervenção para a redução de perdas na construção civil: manual de utilização** - 4. Santos, Aguinaldo et al. Porto Alegre, SEBRAE / RS, 1996, 103p.

SEGATTO, R. **Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado na resistência a compressão e resistência a tração do concreto de cimento Portlan**. Trabalho de conclusão de curso. Curso de engenharia civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Santa Rosa. 2017.

SERPELL, A. B. **Administración de operaciones de construcción**. Universidad Católica de Chile. Santiago - Chile. 1993.

SILVA, D. **Estudo comparativo entre a utilização dos concretos convencionais e leves nos elementos horizontais das estruturas de edificações**. Dissertação de mestrado, Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 165. 2003.

SOUSA, W. F. **Estudo sobre a aplicação de agregado reciclado de concreto em construção de pavimentos**. Dissertação de mestrado. Escola de engenharia de São Carlos. USP. São Carlos, p. 148. 2011.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. 2007. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007. Disponível em: https://ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Jonathas%20Juda%20Lima%20Tenorio.pdf. Acesso em: 24 jan. 2020.

TORRES FILHO, D. **Manual básico de materiais para construção**. 2. ed. Cajazeiras/PB: GR, 2016. 171 p.

VOTORANTIM. Traço de concreto: A importância do controle da água. **Mapa da obra**, 2016. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/traco-de-concreto-a-importancia-do-controle-de-agua/>. Acesso em: 7 jan. 2020.

VGRESÍDUOS. **Guia completo da gestão de resíduos sólidos**. 2018. Disponível em: <http://www.vgresiduos.com.br/guia-completo-da-gestao-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 02 de jun. de 2019.