UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CAIKE ALMEIDA VILAS NOVAS

Caracterização de concretos de reduzido impacto ambiental produzidos com a substituição parcial dos agregados naturais por agregados reciclados de artefatos de concreto

Barra do Garças – MT
2020

CAIKE ALMEIDA VILAS NOVAS

CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETOS DE REDUZIDO IMPACTO AMBIENTAL PRODUZIDOS COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DOS AGREAGADOS NATURAIS POR AGREGADOS RECICLADOS DE ARTEFATOS DE CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Mato Grosso, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Cristopher Antonio Martins de Moura

Barra do Garças

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

V697c Vilas Novas, Caike Almeida.
Caracterização de concretos de reduzido impacto ambiental produzidos com a substituição parcial dos agregados naturais por agregados reciclados de artefatos de concreto / Caike Almeida Vilas Novas. -- 2020
78 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Cristopher Antonio Martins de Moura.
TCC (graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Barra do Garças, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Agregados reciclados. 2. Concreto. 3. Resistencia à compressão. 4. Absorção por capilaridade. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO

TRABALHO DE CURSO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ALUNO(A): CAIKE ALMEIDA VILAS NOVAS

Aos vinte e sete dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte, às dez horas e trinta minutos, na Sala 205, do Campus Universitário do Araguaia – UFMT, na cidade de Barra do Garças, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) **CAIKE ALMEIDA VILAS NOVAS**. A banca foi composta pelos seguintes professores: orientador **Prof. CRISTOPHER ANTONIO MARTINS DE MOURA, Prof. Me. MARIANA CORREA POSTERLLI** e **Prof. Me. RAUL TADEU LOBATO FERREIRA**. O Trabalho de Curso tem como título: **CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETOS DE REDUZIDO IMPACTO AMBIENTAL PRODUZIDOS COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DE CONCRETO DE UMA FÁBRICA DO MUNICÍPIO DE BARRA DO GARÇAS/MT**. Após explanação no prazo regulamentar o(a) aluno(a) foi interrogado pelos componentes da banca. Terminada a etapa, os membros, de forma confidencial avaliaram o(a) aluno(a) e conferiram o(a) mesmo(a) o seguinte resultado Aprovado, proclamado pelo presidente da sessão. Dados por encerrados os trabalhos, lavrou-se a presente Ata, que será assinada pela banca e pelo(a) aluno(a).

Barra do Garças, 27 de fevereiro de 2020.

Aluno(a): Caike Almeida Vilas Novas

Banca:

Prof. Cristopher Antonio Martins de Moura (orientador)
Universidade Federal de Mato Grosso

Mariana Posterlli

Prof. Me. Mariana Correa Posterlli (membro)
Universidade Federal de Mato Grosso

Prof. Me. Raul Tadeu Lobato Ferreira (membro)
Universidade Federal de Mato Grosso

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades e por ser meu companheiro durante toda essa trajetória.

Aos meus pais, Flávio Gomes Vilas Novas e Soraya Cunha de Almeida, pelo amor, incentivo, e apoio incondicional.

Ao meu orientador, Prof. Cristopher Antonio Martins de Moura pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

A toda esquipe do Laboratório de Solo e de Estruturas, em especial ao técnico Júlio Campos da Cruz pelo auxílio no manuseio de todos os equipamentos.

A todos aqueles que me ajudaram de alguma maneira na realização deste trabalho em especial a minha namorada Deborah Giacomini, e meus amigos, Matheus Sampaio, Pedro Henrique Ortolan, Davi Luz, Arthur Batista, Gabriel Dela Justina, Isabhella Regis, Victor Hugo Peres, Layla Santos, Julia Carrascoza e Matheus Messias.

E a todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O setor da construção civil é conhecido por ser um dos maiores geradores de resíduos da construção civil e de origem industrial, além de ser o maior consumidor de recursos naturais existentes, sendo os agregados minerais um dos materiais mais utilizados em seus processos. Dentro deste panorama, estudos sobre a reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) como agregados surgem como uma alternativa para minimizar os impactos causados pelo setor. Nesse contexto, o presente trabalho visa a caracterização de um concreto de baixo impacto ambiental substituindo os agregados naturais por agregados reciclados de blocos de concreto de origem fabril. Inicialmente caracterizou-se os materiais constituintes para produção dos corpos-de-prova de dimensões padronizadas de 20x10 cm no traço 1:1,6:2,51:0,44. Com o intuito de corrigir a maior absorção de água dos agregados reciclados e evitar problemas quanto à consistência e hidratação, foram produzidos concretos de referência e realizado ensaio de abatimento de tronco de cone, e o resultado obtido veio a se tornar referência para as amostras subsequentes. A confecção dos concretos de agregados reciclados foi realizada substituindo parcialmente os agregados naturais por agregados reciclados nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20 %, e seguindo o abatimento de tronco de cone pré-estabelecido. Após o período de cura inicial (24 horas), os corpos-de-prova foram retirados dos moldes e seguiram para cura úmida (28 dias). Posteriormente foram realizados ensaios de absorção por capilaridade e resistência a compressão axial. Em posse dos resultados foi possível observar que o concreto de agregados reciclados obteve valores de resistência média a compressão entre 88,7% e 97,95% do valor obtido pelo concreto referência. Foi observada uma maior absorção de água por capilaridade e ascensão de água por capilaridade nos concretos com maiores quantidades de agregados reciclados, indicando que o material é mais poroso que o concreto convencional. A amostra com teor de substituição de 5% foi a que apresentou melhores resultados, obtendo valores próximos de resistência mecânica e de absorção por capilaridade em comparação ao concreto de referência. Sendo assim conclui-se que, de acordo com os resultados iniciais, é possível a produção de concreto de agregados reciclados, sendo necessários mais estudos para definir assim sua melhor aplicação.

Palavra-chave: Agregados reciclados, Concreto, Resistencia à compressão, Absorção por capilaridade.

ABSTRACT

The construction sector is known as the the largest residue generator of civil construction and industrial origin, besides being the largest consumer of natural resources existing, especially aggregates of mineral origin, one of the most used materials in its processes. Inside this panorama, studies about civil construction residue recycling as aggregates arise as an alternative to minimize the impacts caused by the sector . In this context, the present work aims to characterize aconcrete with a low environmental impact by replacing natural aggregates for recycled concrete blocks aggregates of factory origin. First, the constituent materials were characterized for the standardized specimens production with dimensions of 20x10 cm in the trace: 1:1,6:2,51:0,44. In order to correct greater water absorption of recycled aggregates and avoid problems with consistency and hydration, reference concretes were produced and a cone trunk slump test was realized. The obtained result became a reference for the following samples. The confection of recycled aggregate concrete was made replacing natural aggregates with recycled aggregates in the proportions of 5%, 10%, 15% and 20 %, and following the pre-established slump trunk. After the initial curing period (24 hours), the specimens were removed from the molds and proceeded to wet cure (28 days). Subsequently, capillarity absorption tests and resistance to axial compression test were performed. In view of the results, was possible to observe that the recycled aggregates concrete registers the values of average compressive strength between 88.7% and 97.95% of the value applied by the reference concrete. A greater water absorption by capillarity was observed and water rise by capillarrity in the concrete with larger amounts of aggregates, indicating that material is more porous than conventional concrete. The sample with substitutuion content of 5% presented better results, getting a very close values of mechanical resists and capillarity by absorption, comparing with reference concrete. Thus, it is concluded that, according to the initial results, is possible to produce concrete from recycled aggregates, being needed further studies to define its best application.

Keywords: Recycled aggregates, Concrete, Compressive strength, Capillary absorption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das classes de RCC 25
Figura 2 – Caçamba com entulho 26
Figura 3 – Comparação entre o agregado de seixos e o reciclado 32
Figura 4 – Microestrutura do concreto tradicional 35
Figura 5 – Microestrutura do concreto reciclado 35
Figura 6 – Ensaio de Absorção 37
Figura 7 – Ensaio de compressão axial 40
Figura 8 – Triturador e pilha de agregados reciclados 42
Figura 9 – Agregado graúdo natural utilizado 44
Figura 10 – Agregado graúdo reciclado 45
Figura 11 – Agregado miúdo natural 46
Figura 12 – Corpos de prova em molde 48
Figura 13 – Tanque de cura 49
Figura 14 – Prensa Hidráulica 50
Figura 15 – Realização do ensaio de absorção por capilaridade 51
Figura 16 – Rompimento diametral 52
Figura 17 – Ascensão por capilaridade em corpos de prova 52
Figura 18 – Corpo de prova rompido 61
Figura 19 – Agregado graúdo natural e reciclado 61
Figura 20 – Paver de concreto 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Série de peneiras.....22
Tabela 2 – Composição do RCC em diversas cidades.....27
Tabela 3 – Taxa de reciclagem do RCC em alguns países da Europa 28
Tabela 4 – Traço do concreto.....47
Tabela 5 – Ensaio de granulometria do agregado de seixos.....53
Tabela 6 – Ensaio de granulometria do agregado reciclado.....53
Tabela 7 – Ensaio de granulometria do agregado miúdo 55
Tabela 8 – Absorção de água do agregado de seixos.....56
Tabela 9 – Absorção de água do agregado reciclado 56
Tabela 10 – Relação água/cimento e Abatimento 58
Tabela 11 – Ensaio de resistencia a compressão 59
Tabela 12 – Ascensão por capilaridade.....64
Tabela 13 – Ensaio de abasorção por capilaridade.....68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de cimento 21
Quadro 2 – Características e aplicações dos agregados. 29
Quadro 3 - Classificação segundo a forma das partículas e exemplos. 32
Quadro 4 – Processo de mistura 47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultados do ensaio granulométrico do agregado graúdo 54
Gráfico 2 – Resultados do ensaio granulométrico do agregado miúdo 55
Gráfico 3 – Absorção do agregado de seixos e do agregado reciclado.....57
Gráfico 4 – Quantidade de água por amostra.....58
Gráfico 5 – Resultados do ensaio de resistência a compressão 59
Gráfico 6 – Absorção de água por capilaridade das amostras 62
Gráfico 7 – Pesagem após 3 horas 63
Gráfico 8 – Pesagem após 6 horas 63
Gráfico 9 – Pesagem após 24 horas 63
Gráfico 10 – Pesagem após 48 horas 63
Gráfico 11 – Pesagem após 72 horas 64

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO....14

1. OBJETIVO....17
1.1. Objetivo Geral....17
1.2. Objetivo Específico....17

2. JUSTIFICATIVA....18

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA....20
3.1. Concreto....20
3.1.1. Cimento Portland....20
3.1.2. Agregados....21
3.1.2.1. Impactos da exploração de Agregados Naturais....23
3.2. Resíduos da Construção Civil....23
3.2.1. Classificação....24
3.2.2. Propriedades e composição....25
3.2.3. Geração e Reciclagem....27
3.3. Agregados Reciclados de RCC....29
3.3.1. Composição Granulométrica....30
3.3.2. Material Pulverulento....31
3.3.3. Forma e textura das partículas....31
3.3.4. Absorção de Água....33
3.3.5. Impurezas....34
3.3.6. Concreto Produzido com Agregados Reciclados de Artefatos Concreto....34
3.4. Técnicas de caracterização....36
3.4.1. Absorção de água....36
3.4.2. Trabalhabilidade....38
3.4.3. Resistencia à compressão....39

4. METODOLOGIA....42
4.1. Recolhimento dos resíduos....42
4.2. Caracterização dos materiais utilizados....43
4.2.1. Agregado graúdo natural....43
4.2.2. Agregado graúdo reciclado....44
4.2.3. Agregado miúdo....45
4.3. Traço....46

4.4. Produção dos corpos-de-prova 47
4.5. Ensaio de resistência a compressão 49
4.6. Determinação da absorção de água por capilaridade 50
4.6.1. Ascenção por capilaridade 51

5. RESULTADOS 53
5.1. Ensaios granulométricos 53
5.1.1. Agregados graúdos 53
5.1.2. Agregado miúdo 54
5.1.3. Ensaio de absorção dos agregados graúdos 56
5.2. Relação água/cimento e abatimento de tronco de cone 57
5.3. Ensaio de resistência à compressão 59
5.4. Ensaio de Absorção por Capilaridade 61
5.5. Ascenção por capilaridade 64
5.6. Possíveis aplicações do concreto de agregados reciclados de artefatos 65

6. CONCLUSÃO 66

APENDICE A – RESULTADOS INDIVIDUAIS DE ABSORÇÃO 68

REFERÊNCIAS 69

INTRODUÇÃO

Agregados são materiais granulares que não apresentam forma nem volume definido. No Brasil, o termo é utilizado para definir os materiais utilizados na construção civil como a brita e a areia (DNPM, 2011).

O setor da construção civil é o maior consumidor de recursos naturais no mundo, principalmente de agregados de origem mineral, além disso tem uma alta participação na taxa de geração de poluentes e é um dos maiores geradores de resíduos sólidos urbanos (FERREIRA; LIMA, 2013).

No Brasil, o mercado de agregados da construção civil tem como principais características o baixo custo unitário e de processamento, além de grandes volumes de produção, devido seu preço unitário inferior aos dos demais setores da mineração, o transporte de agregados a grandes distancias se torna economicamente inviável, sendo necessário assim a proximidade dos locais de extração do local onde material será utilizado (ANEPAC, 2014).

Segundo dados da Agência Nacional de Mineração - ANEPAC (2014), a produção brasileira de agregados em 2014 foi de 741 milhões de toneladas, com um consumo per *capita* de 3,7 toneladas, bem inferior quando comparado a países desenvolvidos como EUA (9 toneladas per capita) e Finlândia (17 toneladas per capita).

A extração de agregados minerais causa diversos problemas ambientais como o desequilíbrio no ecossistema, mudanças climáticas e topográficas, poluição da água e do ar na região, além disso a necessidade da proximidade dos locais de extração dos centros urbanos juntamente com o crescimento desordenado leva a área urbana a circundar os locais de extração causando diversos conflitos e prejuízos a população, como problemas de saúde e diversos problemas econômicos (BACCI, 2006).

A retirada da vegetação nativa e mudanças na paisagem devido a escavação e transporte de terra, segundo Tucci e Clark (1997), causa impactos no escoamento e precipitação da região, mudanças no clima, além de impactos na fauna e flora da região.

O uso de explosivos no desmonte de rochas, segundo Pontes, Lima e Silva (2016), causa interferências em águas superficiais, deterioração da qualidade do ar pela emissão de gases e poeiras, ultra lançamento de fragmentos de rochas e erosão da zona de lavra, impactos estes que, segundo o autores, também podem causar uma desvalorização da área ao redor devido a riscos à saúde, ruídos e vibrações causadas pelas explosões que dependendo da intensidade podem impactar as estrutura das construções que circundam

a região, além disso o trânsito de maquinários pesados atua na compactação do solo da região além de emitir gases e derramar óleos e combustíveis.

Em relação aos resíduos da construção civil (RCC), o problema está relacionado principalmente a destinação desse material. As diretrizes implementadas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2002), estabelecem regras para a destinação e reciclagem dos resíduos da construção civil, visando a diminuição dos impactos ambientais causados e benefícios econômicos e sociais, a resolução N° 307/2002 e suas alterações, dentre outros critérios e diretrizes, proíbem a destinação de resíduos a aterros sanitários, resíduos estes que segundo Tozzi (2006) acabam sendo depositados de maneira irregular em terrenos baldios, rios e córregos, contribuindo para a degradação do meio ambiente.

A situação dos resíduos da construção civil no Brasil ainda tem outro agravante, pois para Bastos (2015), os métodos construtivos aqui utilizados são conhecidos por gerar uma grande quantidade de entulho, seja na construção ou na demolição. Além disso somos conhecidos pela alta taxa de desperdício na construção civil e, segundo o autor, o nível dos desperdícios em uma obra no Brasil é bastante elevado, podendo atingir mais de 25% dos custos totais da construção.

O concreto pode ser definido como uma pedra artificial que quando fresca pode ser modelada em formas e tamanhos variáveis, e depois de endurecido tem resistência semelhante as rochas naturais (PEDROSO, 2009).

O desperdício desse material no Brasil ainda é muito alto. De acordo com dados da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem – ABESC (2001), foram gerados no estado de São Paulo cerca de 3500 m^3 a 7000 m^3 de resíduos de concreto, resíduos estes que poderiam ser reutilizados na construção civil através de reciclagem amenizando os impactos ambientais causados pelo setor. Dentro deste panorama, as fabricas de pré-moldados são um dos principais geradores de resíduos de concreto (TOZZI, 2006).

Dentre os diversos tipos de resíduos da construção civil, o concreto possui um dos maiores potenciais de reutilização graças ao conhecimento de suas características básicas (fck, idade etc.) menor heterogeneidade e contaminação com outros materiais (GONÇALVES, 2001).

Para Oliveira e Assis (2001, apud Buttler, 2003), o concreto não se trata de um material inerte como está previsto na ABNT NBR:10004:2004, pois quando expostos a chuva ácida liberam íons que alteram as condições naturais da água e do solo, causando danos à saúde e ao meio ambiente.

Diante dos problemas ambientais, sociais e econômicos causados pela exploração de agregados em larga escala, e da má destinação dos resíduos da construção civil, se faz necessário a criação de projetos que visem a substituição destes recursos naturais de origem mineral por materiais alternativos provenientes de reciclagem, que são uma alternativa que permite uma maior preservação ambiental e se tornem uma saída frente ao esgotamento dos recursos naturais (MARIANO, 2008). Uma forma de reciclagem de agregado de concreto, está na produção de concretos de reduzido impacto ambiental, pela substituição parcial dos agregados como pedra britada e seixos.

Na produção de novos concretos com agregados reciclados, tem-se utilizado diversos resíduos oriundos de demolição e construção, e o que parece ter as melhores propriedades para tal são os resíduos de concreto, por apresentar propriedades significativamente superiores (PORTO E SILVA, 2008).

Com base num amplo estudo bibliográfico, a proposta sugerida no presente trabalho é produzir um concreto de baixo impacto ambiental substituindo parcialmente o agregado graúdo comumente utilizado por agregados reciclados de artefatos de concreto processados e beneficiados, afim de buscar uma substituição parcial que obtenha características análogas ao concreto convencional, visando demonstrar mais uma fonte de agregados reciclados, representando mais um passo no sentido da sustentabilidade na construção civil.

1. OBJETIVO

1.1. Objetivo Geral

- Produzir e avaliar a resistência a compressão e absorção de água por capilaridade de concretos com substituição parcial de 5%, 10%, 15% e 20% dos agregados naturais, por agregados reciclados da produção de peças de artefatos de concreto de uma fábrica do município de Barra do Garças/MT.

1.2. Objetivo Específico

- Produzir concreto de agregados reciclados de artefatos de concreto.
- Avaliar a resistência a compressão de corpos-de-prova aos 28 dias segundo a ABNT NBR 5739:2018, e moldados conforme a ABNT NBR 5738:2015.
- Avaliar a absorção de água por capilaridade, segundo a ABNT NBR 9779:2012, e moldados conforme a ABNT NBR 5738:2015.
- Realizar posteriormente uma comparação entre o concreto de agregados reciclados de artefatos e o concreto comum.
- Por meio dos resultados obtidos, propor possíveis aplicações na construção civil para o concreto de reduzido impacto ambiental sintetizado.

2. JUSTIFICATIVA

A dificuldade quando se temta relacionar “desenvolvimento sustentável” e crescimento econômico é grande, pois tal crescimento está diretamente ligado a extração dos recursos naturais (SILVA, 2012). Nesse contexto a indústria da construção civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, é também conhecida por ser um dos grandes consumidores de recursos naturais não renováveis (MATOS, 2015).

Segundo Nitsch (1996, apud Silva, 2012), a extração dos recursos naturais é insustentável, já que os recursos são inevitavelmente exauríveis. O autor explica que o ambiente minerado não pode ser restaurado: após retirados não há como recolocados, sendo assim impossível garantir que estes recursos possam ser usados pelas futuras gerações.

A aplicação de soluções para um crescimento sustentável é vital para conter a exploração desenfreada dos recursos naturais. A reutilização de resíduos da construção civil gera grandes benefícios ambientais tanto pela não exploração dos recursos quanto pela não disposição dos resíduos gerados por eles (MARIANO, 2008).

Segundo Leite (2001), a reutilização de resíduos da construção civil aparece como boa alternativa para a utilização mais racional de recursos, redução nos custos dos empreendimentos e redução nos custos de gerenciamento dos resíduos que são ocasionados pela construção e demolição. O autor ressalta que, essa prática é a maneira mais eficaz de tentar fechar o ciclo de vida dos materiais utilizados na construção.

Nesse contexto, Buttler (2003), em seus ensaios utilizando agregados de resíduos de concreto (ARC), afirma ter obtido um compósito com características semelhantes aos concretos dosados com agregados naturais. Segundo o autor, uma maior resistência a compressão foi obtida utilizando a fração graúda do material reciclado, fato também apontado por Gonçalves (2001).

Rakshvir e Barai (2006) apontam vantagens para a reutilização de resíduos sólidos como a redução da extração de matérias-primas, redução no preço de transporte, melhoras nos lucros e menor impacto ambiental. Segundo os autores, com proporções diferentes de agregados foi observada um decréscimo de 10% na resistência em comparação ao concreto com agregados naturais, além de um maior consumo de água que deve ser levado em conta na elaboração.

Segundo Vieira, Dal Molin e Lima (2004), o uso do agregado reciclado no concreto, em proporções convenientemente dosadas, não afeta a resistência à compressão, tão pouco a durabilidade do concreto armado. No entanto, o autor destaca que é necessário que se dê importância primária para o tratamento destes resíduos, desde o beneficiamento, passando pela caracterização, até a fase de utilização dos agregados no concreto.

Leite (2001) obteve resultados satisfatórios em relação a compressão utilizando resíduos de concreto e resíduos cerâmicos na matriz de concreto, no entanto o autor afirma que é necessário ampliar ainda mais o conhecimento sobre o comportamento dos resíduos da construção civil para a produção de novos concretos, sendo interessante mostrar a viabilidade na utilização do material, e diminuir todas as incertezas sobre o seu comportamento quando incorporado a novos materiais.

Verifica-se a relevancia da presente pesquisa considerando o aspecto colaborativo e investigativo de soluções econômicas e sustentáveis através da reutilização de artefatos de concreto como agregados graudos, visando a produção de um concreto de baixo impacto e assim contribuindo para o estudo de reciclagem de resíduos de concreto com uma nova fonte de agregados de origem fabril local, diminuindo assim os impactos ambientais e sociais causados pela construção civil.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Este capítulo aborda conceitos referentes ao concreto de baixo impacto ambiental e, aos agregados reciclados de blocos de concreto e algumas técnicas de caracterização. Apresentando suas definições, classificação e aplicações, além de apresentar suas principais características a serem estudadas.

3.1. Concreto

No sentido mais amplo, o concreto é um material constituído pela mistura, devidamente proporcionada, de pedras e areia, com um cimento hidráulico, água e, aditivos e adições. Devido as propriedades que os produtos da reação do ligante com a água têm de endurecer, a mistura ganha coesão e resistência, permitindo que sirva como material de construção (COUTINHO, 1997).

O concreto tem sua aplicação nos mais variados tipos de estrutura, desde as pequenas construções e edifícios sofisticados com estruturas pré-tensionadas até barragens. Quando comparado com materiais como polímeros, metais, cerâmicas, o concreto apresenta um menor custo e possui resistência e durabilidade adequadas além de requerer menos energia para ser produzido (FONSECA, 2010).

Segundo Diniz (2009) o concreto é o segundo material mais produzido do mundo, e possui como composição básica o cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo e água, havendo a possibilidade de acréscimo de aditivos com o intuito de melhorar características especificas do material (HELENE; TIBÉRIO, 2010).

3.1.1. Cimento Portland

Segundo Verçosa (2000), a produção do cimento se dá pela mistura das matérias-primas em dosagens pré-definidas, pulverizadas e queimadas em num forno em altas temperaturas, onde o produto resultante desta queima é denominado de clínquer, que após resfriado e moído resulta no cimento Portland.

Existem diversas composições de cimento Portland. O Quadro 1 apresenta diversos tipos de cimento Portland disponíveis no Brasil.

Tipo de Cimento	Norma Vigente
Cimento Portland Comum CP I e CP I-S	NBR 5732
Cimento Portland CP II	NBR 11578
Cimento Portland de Alto forno CP III (com escória)	NBR 5735
Cimento Portland CP IV	NBR 5736
Cimento Portland CP ARI	NBR 5733
Cimento Portland CP (Resistência à sulfatos – RS)	NBR 5737
Cimento Portland de Baixo calor de hidratação (BC)	NBR 13116
Cimento Portland Branco (CPB)	NBR 12989

Quadro 1 – Tipos de cimento
Fonte: Adaptado de ABNT (2002)

Cada tipo de cimento possui componentes específicos que visam dar maior durabilidade e resistência ao concreto em diferentes situações, porém, não é só a composição do concreto que garantem a sua durabilidade. Propriedades físicas e mecânicas, como a resistência, permeabilidade, fluência, também sofrem influência de outras características dos demais componentes (NEVILLE E BROOKS, 2013).

3.1.2. Agregados

Agregado é a denominação geralmente dada aos materiais que adicionados ao cimento e a água formam as argamassas e os concretos. Os agregados apresentam-se em forma de grãos, tais como areias e britas, e devem ser inertes, ou seja, não devem provocar reações indesejáveis (RIBEIRO; PINTO E STARLING, 2002).

Os agregados podem ser divididos quanto a sua origem em agregados naturais e artificiais. Os agregados naturais são aqueles encontrados em sua forma pura na natureza, são os seixos rolados e as areias naturais, enquanto os artificiais são aqueles provenientes de algum processo industrial, como as pedras britadas e areias artificiais (LA SERNA; REZENDE 2009).

Ribeiro, Pinto e Starling (2002) afirmam ainda que os agregados constituem aproximadamente 70 % do volume total dos produtos em que são utilizados, desempenhando em consequência um importante papel no custo total.

A ABNT NBR 7211:2009 estabelece os requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento

Portland. Segundo a norma, os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, limpos, duráveis e resistentes, devendo apresentar uma resistência no mínimo superior a massa de cimento, caso contrário os grãos se romperiam antes da pasta. Além disso não devem conter substâncias de outra natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação, o endurecimento do cimento, a durabilidade, a proteção da armadura contra a corrosão ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

A ABNT NBR 7211:2009 estabelece também parâmetros que dividem os agregados quanto a sua granulometria:

> Agregado miúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 mm.
> Agregado graúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

A série normal e série intermediária são o conjunto de peneiras sucessivas, que atendem à ABNT NBR NM ISO 3310-1:2010. A Tabela 1 apresenta a abertura da série normal de peneiras.

Tabela 1
Série de peneiras

SÉRIE NORMAL
19 mm
9,5 mm
4,75 mm
2,36 mm
1,18 mm
600 µm
300 µm
150 µm

Fonte: Adaptado de ABNT NBR NM 248:2003.

Segundo Neville e Brooks (2013), os agregados graúdos podem ser interpretados como uma espécie de pequenos blocos de alvenaria unidos pela argamassa, isto é, a mistura de cimento hidratado e agregados miúdos. De acordo com Buest Neto (2006), os agregados arredondados e lisos requerem menor quantidade de água, para uma mesma trabalhabilidade, em comparação aos agregados angulares e ásperos. Entretanto, agregados com textura mais lisa tendem a apresentar pouca aderência à pasta do cimento.

O conhecimento das características e a seleção crítica dos agregados graúdos, possibilita um maior controle das propriedades do concreto, produzindo um material de melhor qualidade mais resistente e durável (RIBEIRO JUNIOR, 2017).

3.1.2.1. Impactos da exploração de Agregados Naturais

Segundo Leite (2001) a construção civil é um dos maiores exploradores dos recursos naturais, e um dos maiores agentes de degradação ambiental. O autor afirma que a maior exploração dos recursos naturais e a maior geração de resíduos é devido, principalmente, ao crescimento populacional desordenado.

Hood (2006) destaca que a exploração desenfreada dos recursos naturais, mesmo que sejam essenciais para o funcionamento das indústrias e desenvolvimento do país, acabam gerando grandes impactos ambientais, não contribuindo para a sustentabilidade.

Segundo Bacci et al. (2006), os impactos da exploração mineral estão ligados a todas as fases da exploração, que gera impactos como a perda da fauna e flora local, mudanças no clima, no relevo da região, vibrações excessivas do terreno e ultra lançamento de fragmentos, geração de gases, poeiras e ruídos.

A exploração do material do fundo do leito de rios e lagos causa alterações nos cursos d'água, aumento do teor do material sedimentado em suspensão, descaracterização do relevo, assoreamento de cursos d'água, e destruição de áreas de preservação permanente (SANTOS, 2015).

3.2. Resíduos da Construção Civil

Resíduos da construção civil (RCC), de acordo com a resolução CONAMA (2002), são:

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

As características e composição dos RCC diferem muito em função do local onde o mesmo foi confeccionado, indústria, mão de obra, clima, tipo do material utilizado nas edificações que venham a gerar entulho, as técnicas de construção e demolição adotadas, todos estes fatores influenciam nas características do resíduo a ser gerado (REIS, 2009). Sendo assim, o estudo destes materiais em diferentes regiões do Brasil contribui para um melhor panorama do reaproveitamento de resíduos da construção civil.

3.2.1. Classificação

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2002), através da resolução nº 307/2002 alterada pelas resoluções CONAMA 348/2004, CONAMA 431/2011, CONAMA 448/2012, CONAMA 469/2015, divide os resíduos da construção civil, segundo seu uso, em quatro classes como mostra a Figura 1.

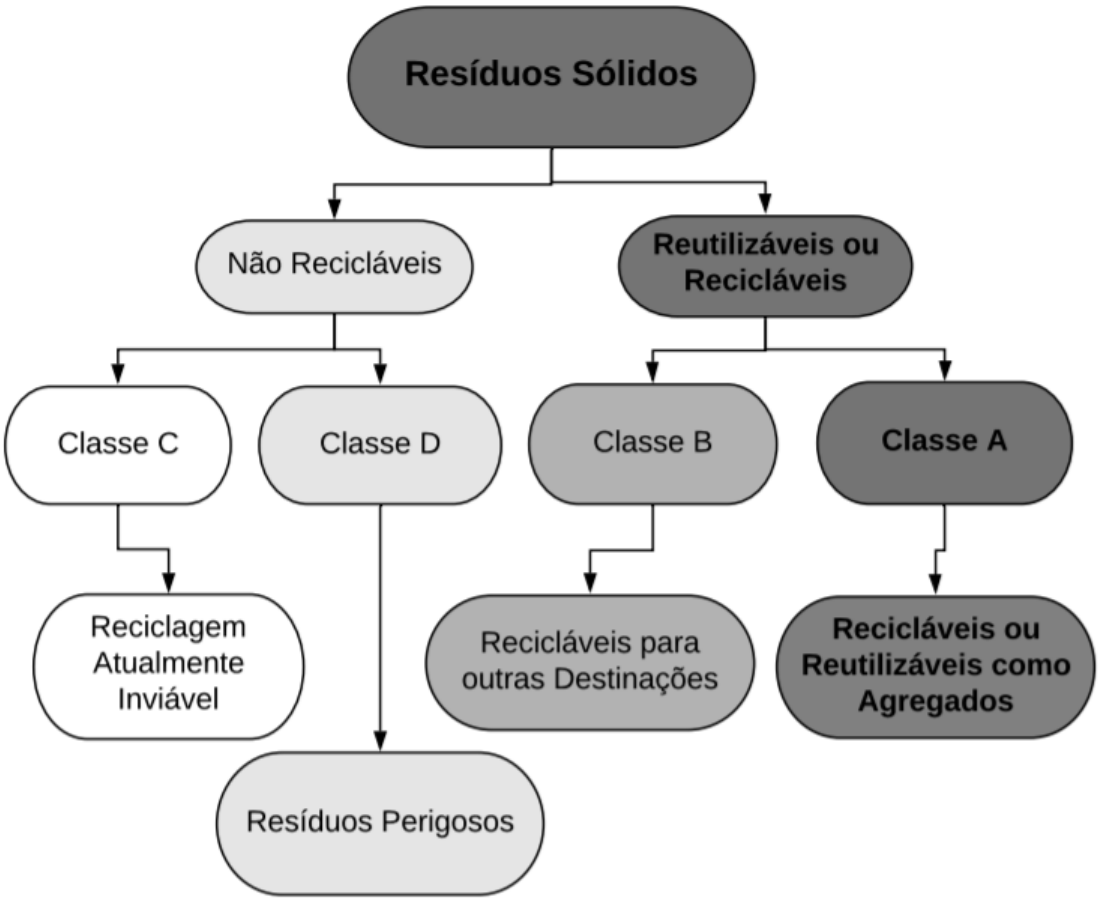


Figura 1 – Fluxograma das classes de RCC
Fonte: Construção do autor (2020)

A ABNT NBR 15116:2004 trata sobre os resíduos de classe A. De acordo com a norma, o beneficiamento dos materiais inclusos nesta classe geram dois tipos de resíduos que recebem o nome de agregados de resíduos mistos (ARM), cuja a composição na sua fração graúda possui menos de 90% da massa composta a base de cimento Portland e rochas, e os resíduos de concreto (ARC), cuja composição na sua fração graúda possui mais de 90% da massa composta a base de cimento Portland e rochas.

3.2.2. Propriedades e composição

O RCC é um material heterogêneo geralmente composto por concretos, argamassas, rochas naturais, cerâmica, madeira, aço, plásticos, gesso, vidro e impurezas. Suas características variam muito em decorrência de sua origem: resíduos de construção e demolição ou ambos, ou de outros fatores como região geográfica, clima, tipo da construção (residencial, industrial, infraestrutura) e o estado em que a obra se encontra (REIS, 2009).

Atribui-se a heterogeneidade do RCC a culpa pela sua não utilização em larga escala, um material mais homogêneo apresenta melhores resultados para reutilização (WERLE, 2010). Dentro deste panorama os resíduos de artefatos de concreto apresentam um grande potencial por apresentarem maior homogeneidade em sua composição que os RCC em geral, que são comumente encontrados em obras que não seguem preceitos de gerenciamento de resíduos misturados em caçambas ou baias com outros produtos até de outras classes. A Figura 2 mostra um exemplo de RCC de diversas classes armazenados em uma caçamba.



Figura 2 – Caçamba com entulho
Fonte: Arquivo do Autor (2020)

É possível observar na Figura 2 a grande quantidade de resíduos de composição distintos, além disso, materiais que não fazem parte dos resíduos de Classe A, como materiais orgânicos e lixo doméstico, tornando mais difícil o reaproveitamento destes materiais.

Apesar de serem tratados como inertes, os resíduos da construção civil são constituídos de materiais pesados e de grande volume, contendo tintas e solventes, substâncias de tratamento de superfícies, ou até mesmo metais pesados que quando depositados de maneira incorreta podem gerar contaminação devido a lixiviação ou solubilização de certas substâncias nocivas (LEITE, 2001).

Segundo Monteiro et al. (2001), o componente de maior porcentagem nos entulhos de obra do Brasil é a argamassa com 63% da massa em média, seguido por concreto e blocos com 29%.

Para o melhor diagnóstico da situação dos RCC é necessário conhecer sua composição. A Tabela 2, fornecida pelo sindicato da indústria da construção civil do ceara-SINDUSCON (2011), apresenta a porcentagem de materiais encontrados nos RCC em algumas cidades do Brasil.

Tabela 2
Composição do RCC em diversas cidades

Autor / Município	**Argamassa (%)**	**Concreto (%)**	**Cerâmicos (%)**	**Outros (%)**
Lovato (2007) / Porto Alegre	44,2	18,3	35,7	1,8
Oliveira et al (2011) / Fortaleza	38	14	13	35
Brito Filho (1999) / São Paulo	25,2	8,2	29,6	37
Vieira (2003) / Maceió	27,82	18,65	48,15	5,38

Fonte: Adaptado de SINDUSCON CE (2011)

Dados como estes reforçam a tese de que a composição do RCC varia de acordo com a região em que foi originado e de que são necessários estudos para o maior conhecimento das características locais dos resíduos e posteriormente obter matrizes recicladas de melhor qualidade.

3.2.3. Geração e Reciclagem

Diversos fatores estão ligados a geração dos RCC, como a correção de manifestações patológicas, reformas com demolição parcial, substituição de componentes que atingiram sua vida útil, erros no processo construtivo, da concepção a execução do projeto, má qualidade do material empregado e perda por estocagem (SANTOS, 2016).

A taxa de geração de RCC no Brasil foi de 123.619 t/dia em 2016, resultando em uma geração em todo país de aproximadamente 45 milhões de toneladas de resíduos, com um índice de 0,594 kg/dia/hab. no referido ano (ABRELPE, 2017).

Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON (2016), a taxa de reciclagem de RCC no Brasil é de apenas 21% de todo o resíduo gerado, valor que representa, em média, 45% da capacidade de produção das usinas de reciclagem implantadas em todo o país. A Tabela 3, com finalidade comparativa, mostra a porcentagem de reciclagem em alguns países Europeus.

Tabela 3

Taxa de reciclagem do RCC em alguns países da Europa

País	Reciclagem de RCC (%)
Dinamarca	94
França	45
Alemanha	86
Irlanda	80
Luxemburgo	46
Holanda	98
Espanha	14
Inglaterra	75

Fonte: Adaptado de Ozalp et al. (2016)

Observa-se que o Brasil apresenta uma taxa de reciclagem de RCC inferior a maioria dos países Europeus apresentados na Tabela 3. Segundo dados da pesquisa setorial realizada pela ABRECON (2016), no ano de 2015 existiam cerca de 310 usinas no Brasil que juntas movimentaram cerca de 391 milhões de reais no ano de 2014, a capacidade nominal de produção dessas usinas é de cerca de 38 milhões de metros cúbicos por ano, e de acordo com associação, o setor tem plenas condições de dobrar essa quantidade.

A principal aplicação do RCC se dá em forma de agregados, tanto na fração graúda como na fração miúda, podendo ser inseridos em diversos processos como na aplicação em pavimentações, argamassas de revestimento, agregados para concreto entre outros (CAVALHEIRO, 2011).

Capello (2006) apresenta os tipos de agregados que podem ser gerados a partir do RCC, conforme o Quadro 2.

PRODUTO	CARACTERISTICAS	USO RECOMENDADO
Areia Reciclada	Material com dimensão máxima inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente de reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassa de assentamento de alvenaria de vedação, contrapiso, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.
Pedrisco Reciclado	Material com dimensão máxima de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente de reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto, com blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas e esgoto, entre outros.
Brita Reciclada	Material com dimensão inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagem.
Bica Corrida	Material proveniente da reciclagem de RCC (bloco de concreto, restos de cerâmicas etc.), livre de impurezas, com dimensão máxima de 63 mm.	Obras de base e sub-base de pavimentação, reforço e subleito de pavimentos, regularização de vias não pavimentadas, aterros e nivelamento de terrenos.
Rachão	Material com dimensão máxima inferior a 150mm, isentos de impurezas, provenientes da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagem e terraplanagem.

Quadro 2 – Características e aplicações dos agregados**.**
Fonte: Adaptado de Capello (2006)

Para Cavalheiro (2011), a reciclagem para as empresas da construção civil é uma oportunidade de transformação de despesa em renda, ou pelo menos, de redução destas despesas para a empresa geradora dos resíduos. Para o autor as empresas de reciclagem contribuem para a redução do volume de extração de matérias-primas, preservando recursos naturais limitados, assim como projetando novos negócios na área.

3.3. Agregados Reciclados de RCC

Os agregados reciclados são o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras

de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia (CONAMA, 2002).

Os agregados reciclados apresentam características variáveis, logo os concretos tendem também a apresentar características diferentes de acordo com agregado utilizado. O conhecimento das propriedades do agregado de RCC são tão importantes quanto o conhecimento das propriedades do concreto, é a partir do entendimento das relações existentes entre esses dois conjuntos de dados que se pode proporcionar o emprego adequado e confiável dos agregados reciclados (TENÓRIO, 2007).

Os agregados ocupam cerca de 75% da massa do concreto, logo o estudo das características do agregado é de grande importância, pois um material de má qualidade pode comprometer a resistência e durabilidade do concreto (NEVILLE E BROOKS, 2013).

3.3.1. Composição Granulométrica

Os agregados reciclados de resíduos da construção civil apresentam uma composição granulométrica mais contínua e com maior quantidade de finos (MALTA, 2012). Esta granulometria contínua indica que os agregados reciclados estão graduados uniformemente dentro de uma determinada faixa de tamanhos, permitindo uma maior interação física entre as partículas e proporcionando melhor arranjo e maior resistência mecânica (MARTÍN-MORALES et al., 2011).

Segundo Santos (2016), devido a influência na trabalhabilidade e na resistência, a granulometria dos agregados é um importante parâmetro para a dosagem do concreto. Agregados com granulometria contínua produzem misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas no estado fresco (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Já no estado endurecido proporcionam um concreto mais denso e favorecem a resistência à compressão, e outras propriedades mecânicas (OLIVEIRA, 2012).

Diversas pesquisas chegaram à conclusão de que a utilização da fração graúda dos agregados reciclados apresenta melhores resultados em relação a fração graúda. Segundo Buttler (2003), Gonçalves (2001) e Leite (2001), o concreto com agregados graúdos reciclados pode chegar a ter valores superiores de resistência a compressão quando comparado a concretos com agregados naturais nas mesmas condições em dosagens especificas.

3.3.2. Material Pulverulento

De acordo com a ABNT NBR 7211:2009, são denominados materiais pulverulentos aqueles cuja dimensão é inferior a 75μm. Segundo Silva (2011), em suas pesquisas comparando a quantidade de finos presentes nos agregados graúdos naturais, reciclados mistos e de concreto, o agregado reciclado de concreto foi o que apresentou os menores teores de materiais finos. Já o agregado misto apresentou os maiores valores, mostrando a sua fragilidade quando submetidos ao processo de trituração.

Segundo Levy (2001), em suas pesquisas comparando o teor de finos em agregados miúdos e graúdos reciclados de concreto, os agregados graúdos apresentaram menores quantidades de material pulverulento, quando comparados à fração miúda. Segundo o autor isso ocorre em função do processo de beneficiamento destes agregados.

Os finos podem atuar como uma película sobre a superfície dos grãos dos agregados e reduzir a aderência do agregado à pasta. Além disso por possuírem uma grande superfície específica, requerem maior quantidade de água para manter a trabalhabilidade esperada na mistura, o que pode provocar diminuição da resistência mecânica do concreto produzido (KATZ; BAUM, 2006).

3.3.3. Forma e textura das partículas

De acordo com Leite (2001), os agregados reciclados geralmente possuem um formato mais angular com textura porosa e rugosa, sendo estas características atribuídas a argamassa aderida no agregado, a forma de beneficiamento, o tipo de britador utilizado e do tipo de material que o originou. A Figura 3 apresenta a comparação entre o formato do agregado de seixos e o agregado reciclado.



Figura 3 – Comparação entre o agregado de seixos e o reciclado
Fonte: Arquivo do Autor (2020)

Para Neville e Brooks (2013), as características externas dos agregados, como a forma e a textura superficial são importantes para as características finais do concreto fresco e endurecido. O Quadro 3 mostra a classificação segundo a forma das partículas.

Classificação	Descrição	Exemplos
Arredondado	Totalmente desgastado pela ação de água ou totalmente conformado por atrito.	Seixo de rio ou zonas litorâneas marítimas; areia de deserto, de origem eólica ou de litoral marítimo.
Irregular	Naturalmente irregular ou parcialmente conformado por atrito com arestas arredondadas.	Outros seixos, Flint.
Lamelar	Material em que a espessura é menor que as outras duas dimensões.	Rochas lamelares.
Anguloso	Possuem arestas bem definidas na interseção das faces razoavelmente planas.	Pedras britadas de todos os tipos.
Alongado	Material, em geral, anguloso no qual o comprimento é consideravelmente maior que as outras duas dimensões.	–
Lamelar e Alongado	Material com o comprimento bem maior que a largura e está bem maior que a espessura.	–

Quadro 3 - Classificação segundo a forma das partículas e exemplos.
Fonte: Adaptado de Neville e Brooks (2013)

Para Buttler (2003), a forma do agregado é variável dependendo do tipo de britador utilizado, o ajuste de abertura do britador e o número de vezes que o agregado foi submetido ao processo de britagem. De acordo com Leite (2001), os agregados naturais apresentam uma forma mais arredondada, enquanto os agregados reciclados apresentam uma forma mais angular, que acarreta numa perda de trabalhabilidade na mistura devido ao atrito entre os grãos.

A forma e a textura das partículas influenciam no consumo de pasta de cimento. Quando comparadas às partículas lisas e arredondadas, as partículas de textura áspera, com forma angulosa e alongada necessitam de uma maior quantidade de pasta de cimento para produzir concretos trabalháveis, isso consequentemente, acarretará no aumento do custo do concreto. É necessário um maior volume de pasta para envolver a maior área específica dos grãos e para compensar as dificuldades no rolamento dessas partículas. (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

3.3.4. Absorção de Água

A absorção de água é uma propriedade definida pela capacidade máxima de um material de absorver água em relação a sua massa seca, em porcentagem (DUAILIBE, 2008).

Os agregados reciclados têm uma porosidade maior que a dos agregados naturais, portanto absorvem mais água e consequentemente necessitam de uma relação água/cimento maior de acordo com a taxa de substituição utilizada (OLIVEIRA, 2012).

Para Reis (2009), os resíduos de concreto tendem a ser menos porosos quando comparados aos resíduos cerâmicos, apresentando consequentemente melhores resultados quanto a resistência e durabilidade. Para o autor a porosidade varia de acordo com o resíduo e a região onde ele foi produzido.

Amorim (2008) em suas pesquisas chegou à conclusão de que a fração graúda possui menores valores de absorção de água quando comparados a fração miúda. Para o autor isso se deve ao fato de os agregados miúdos possuírem maiores quantidades de argamassa aderida em relação ao seu volume total. Juan e Gutiérrez (2009) afirmam que, quanto maior o agregado menor a porcentagem de argamassa aderida a ele. Dentro deste contexto, as frações mais graúdas dos agregados reciclados tendem a apresentar melhores resultados quando comparadas as frações menores.

Leite (2001), em seu levantamento bibliográfico, afirma que a taxa de absorção de agregados reciclados de resíduos de concretos e argamassas com a mesma relação água/cimento, apresentaram uma taxa de 6 a 7 % para agregados reciclados de concreto, e 15 e 17 % para os agregados reciclados de argamassa.

Sendo assim é imprescindível determinar a taxa absorção do agregado para o estudo de dosagem. A partir da taxa de absorção de água do agregado reciclado no tempo, é possível determinar o melhor percentual para a compensação da absorção de água na execução dos traços de concreto reciclado, compensação esta, que pode utilizar o ensaio de abatimento de tronco de cone como parâmetro para as adições de água (PADOVAN, 2013).

Conforme Dessuy (2018), a maior absorção dos agregados e a relação água/cimento podem ser corrigidos através do ensaio de abatimento de troco de cone, padronizando assim seu valor e corrigindo o mesmo empiricamente através do aumento da quantidade de água em pequenas porcentagens de acordo com a quantidade de agregados reciclados utilizados, até se alcançar o valor pré-estabelecido de abatimento.

3.3.5. Impurezas

Jochem (2012) atenta para a necessidade de verificar os materiais reciclados devido a presença de impurezas que se encontram presentes pela dificuldade de remoção antes e após a britagem. Segundo o autor, a fração graúda apresenta menor teor de impurezas em relação a fração miúda.

A presença de impurezas diminui a resistência mecânica dos concretos produzidos com materiais contaminados, porém podem existir outros problemas decorrentes de tais contaminações e impurezas (CORDEIRO, 2013).

3.3.6. Concreto Produzido com Agregados Reciclados de Artefatos Concreto

Uma solução frente aos problemas gerados pelos resíduos da construção civil é a reciclagem deste material como agregado. Resultados positivos foram encontrados por diversos pesquisadores no reaproveitamento destes materiais nas matrizes de concreto.

Simieli *et al.* (2007), em suas pesquisas utilizando agregados reciclados em pavimentações de concreto, obtiveram resultados satisfatórios em relação a resistência mecânica e de módulo de elasticidade para concretos produzidos com 40% de agregados

reciclados, sempre com valores de resistência à compressão superiores a 35 MPa recomendados pela normalização brasileira para a confecção de pavimentos intertravados de concreto.

Dessuy (2018), afirma que é possível utilizar porcentagens de rejeitos da própria construção civil como agregado graúdo em concretos, sem que isso prejudique o desempenho mecânico e a durabilidade do mesmo. Segundo a autora, com a substituição parcial de 10% dos agregados naturais por reciclados é possível produzir matrizes de concreto com funções estruturais.

Nesse contexto as Figuras 4 e 5 apresenta a microestrutura de um concreto natural e de um reciclado.

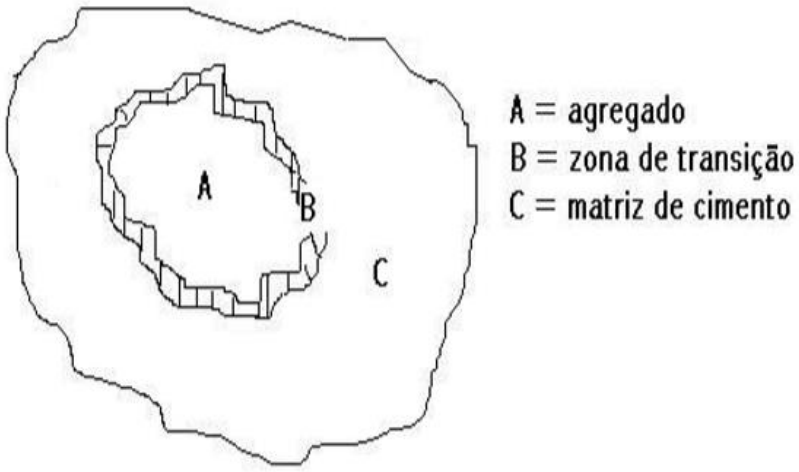


Figura 4 – Microestrutura do concreto tradicional
Fonte: Retirado de Buttler (2003)

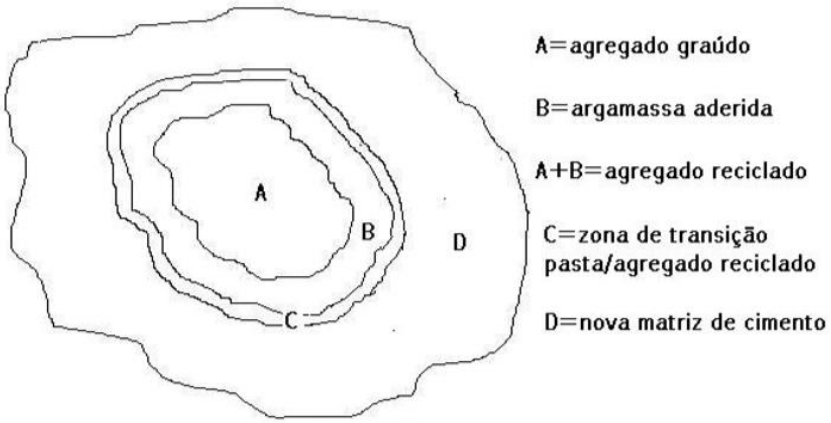


Figura 5 – Microestrutura do concreto reciclado
Fonte: Retirado de Buttler (2003)

Observa-se na microestrutura do concreto reciclado uma camada de argamassa que envolve o agregado natural, camada essa que varia em quantidade de acordo com a granulometria, e as características do material que deu origem ao resíduo. Como visto, os concretos produzidos com agregados reciclados apresentam características e propriedades diferentes dos concretos convencionais, características estas que dependem das propriedades do agregado reciclado utilizado (LOVATO, 2007).

O reaproveitamento de concretos reciclados é uma boa alternativa para o aproveitamento dos resíduos gerados na construção civil, possibilitando menor consumo de agregados naturais e redução do impacto ambiental.

3.4. Técnicas de caracterização

3.4.1. Absorção de água

Agregados reciclados tendem a ter uma maior absorção de água, e consequentemente os concretos produzidos com este material tendem também a absorver maiores quantidades (GONÇALVES, 2001).

A norma ABNT NBR NM 53:2009 estabelece os parâmetros para realização do ensaio de absorção em agregados graúdos. Através deste ensaio é possível determinar a porcentagem de absorção de água dos agregados em relação a sua massa total. Em relação aos concretos a ABNT NBR 9779:2012 estabelece os parâmetros para a realização do ensaio de absorção de água por capilaridade, através deste ensaio e possível determinar um comparativo entra a porosidade dos materiais confeccionados.

A granulometria dos agregados também influencia na absorção de água na matriz de concreto, as frações maiores de agregados apresentam menor taxa de absorção, com intervalos que variaram de 3,5 a 6,9% e 4,6 à 11,5% para frações granulométricas de 10 à 20 mm e 0 à 10 mm, respectivamente (CORDEIRO, 2013). Para Amorim (2008), a maior absorção de água das frações menores pode ser atribuída à maior quantidade de argamassa aderida aos grãos de agregado de concreto de menor tamanho.

A perda da durabilidade do concreto armado é frequentemente causada por uma conjunção de fatores que incluem a exposição ao meio ambiente e ingresso de agentes agressivos, especificações inadequadas e construções executadas sem os parâmetros exigidos pelas normas técnicas (SENTENA, 2010).

O meio mais frequente de ingresso de agentes agressivos nas matrizes de concreto é por meio dos poros, podendo ter como vetor a água, sendo a forma mais frequente de ingresso de água para o interior do concreto o mecanismo de absorção capilar (HELENE, 1993).

Ensaios realizados por Sentena (2010) demonstram que quanto menor a resistência à compressão do concreto reciclado, maior é a porosidade do ARC e maior é a absorção dos concretos com ARC.

De acordo com Dessuy (2018), nos ensaios realizados pela autora substituindo os agregados graúdos naturais por agregados reciclados de RCC, os concretos com maiores teores de substituição vieram a apresentar resultados superiores de absorção de água por capilaridade em comparação ao concreto referência produzido por ela. Segundo a autora, resultados obtidos são justificados pelos agregados reciclados serem mais porosos que os convencionais, produzindo, então, um concreto mais permeável.

A Figura 7 mostra a o ensaio de absorção sendo realizado por Medeiros et al. (2015)



Figura 6 – Ensaio de Absorção
Fonte: Adaptado de Medeiros et al. (2015)

A ABNT NBR 9779:2012 prescreve o método pelo qual devem ser realizados os ensaios de absorção por capilaridade e de ascensão por capilaridade, de argamassa e concreto endurecidos. Os corpos-de-prova devem ser moldados de acordo com a ABNT NBR 5738:2015. Os resultados de absorção por capilaridade devem ser apresentados em g/cm², e são obtidos pela divisão do aumento de massa dos corpos de prova, pela área da

seção transversal da superfície do corpo-de-prova em contato com a água, conforme a Equação (2).

$$C = \frac{(A-B)}{S} \quad (2)$$

Onde:

C = absorção de água por capilaridade, em g/cm^2

A = massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, em g

B = massa do corpo-de-prova seco, assim que este atingir a temperatura de (23 ± 2)^{o}C, em g

S = área da seção transversal, em cm^2

3.4.2. Trabalhabilidade

Em função da maior porosidade dos agregados reciclados, e em consequência disso, a maior absorção de água, os concretos de agregados reciclados necessitam de uma relação água/cimento superior visando assim manter a consistência do concreto dentro dos padrões previstos. Quanto maior o teor de substituição, maior a relação água/cimento para compensar a perda de trabalhabilidade (OLIVEIRA, 2012).

Além das maiores taxas de absorção de água pelos agregados de RCC, outros fatores também influenciam na trabalhabilidade dos concretos reciclados. Segundo Reis (2009), além da maior absorção de água o formato irregular e a textura rugosa dos agregados reciclados também são responsáveis pela perda da trabalhabilidade da massa. A trabalhabilidade da massa pode ser medida e controlada através do ensaio de abatimento de tronco de cone, realizado conforme a ABNT NBR NM 67:1998, que estabelece parâmetros de consistência do concreto.

O aumento da relação água/cimento, para Leite (2001), deve ser controlado, apesar da maior absorção de água um aumento significativo pode resultar na perda da resistência da matriz de com/creto, sendo sugerido pelo autor a compensação parcial da água absorvida pelos agregados.

3.4.3. Resistencia à compressão

A resistência à compressão axial é uma das propriedades mais importantes para a avaliação do desempenho mecânico de uma estrutura, pois serve de parâmetro para a análise de outras propriedades do concreto, tais como resistência à tração, módulo de elasticidade e durabilidade. Por isso é a propriedade mais representativa na avaliação da qualidade do concreto no estado endurecido. No concreto convencional, os parâmetros de maior influência na resistência à compressão são a relação água/cimento e o grau de hidratação. Porém, quando o concreto reciclado é produzido, o teor e a qualidade do agregado reciclado tornam-se fatores adicionais e fundamentais na análise dessa propriedade (SANTOS, 2016).

Segundo dados obtidos por Rangel (2015), em suas pesquisas, a quantidade de agregados naturais substituídos por reciclados não resultou em diferenças significativas entre seus valores de resistência, apresentando propriedades semelhantes. As deformações de pico e os módulos de elasticidade dos concretos reciclados apresentaram valores muito próximos em cada classe, e não variaram em função do teor de brita RCD utilizada.

Para Pimentel et al. (2013) a resistência a compressão do concreto reciclado diminui de acordo com o aumento da porcentagem de substituição do agregado natural por reciclado. Leite (2001) e Lovato (2007) também chegaram a essa conclusão em suas pesquisas.

Segundo o trabalho desenvolvido por Reis (2009), obtendo resultados de resistência à compressão iguais para o concreto de referência e o teor de 25% de substituição do agregado natural por reciclado da classe C25. Já para a classe C38 a autora constou uma queda entre a resistência do concreto referência e os concretos com substituição parcial de 25 e 50%.

Dessuy (2018), em seu trabalho, afirma que a resistência a compressão em concretos confeccionados com RCC tendem a diminuir de acordo com o aumento da taxa de substituição do agregado natural por reciclado, assim como a relação água/cimento é um fator decisivo na resistência final dos concretos produzidos com RCC.

Nesse sentido, a ABNT NBR 5739:2018 prescreve o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos-de-prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a ABNT NBR 5738:2015.

O rompimento dos corpos-de-prova pode ser realizado em diversas idades, se tratando de corpos-de-prova moldados de acordo com a NBR 5738:2015, a idade deve ser contada a partir do momento em que o cimento é posto em contato com a água de mistura.

O ensaio de compressão conforme prescrito na norma ABNT NBR 5739:2018 é realizado através de uma prensa hidráulica que determina a resistência a compressão simples submetidos à uma força de compressão uniforme, até sua ruptura. A resistência à compressão deve ser obtida, dividindo-se a carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova, devendo o resultado ser expresso com aproximação de 0,1 MPa. como demonstrado na Equação (1).

$$fc = \frac{4F}{\pi.D^2} \quad (1)$$

Onde:

fc = Resistência à compressão, em megapascals (MPa);

F = Força máxima alcançada, em Newtons (N);

D = Diâmetro do corpo-de-prova, em milímetros (mm).

A Figura 6 apresenta a estrutura de uma prensa hidráulica utilizada no ensaio.

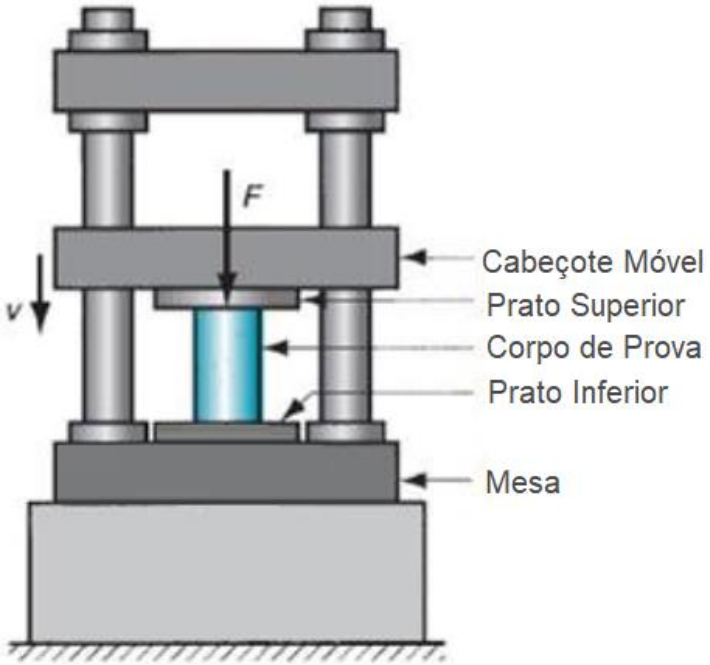


Figura 7 – Ensaio de compressão axial
Fonte: Adaptado de Moldovan (2010)

Visando que valores de resistência menores que o de projeto não prejudiquem a estrutura a ABNT NBR 12655:2015 estabelece que 95% das amostras devem apresentar resistência igual ou superior a requerida.

4. METODOLOGIA

A presente pesquisa procura produzir conhecimentos para aplicação de práticas dirigidas à solução de problemas a partir dos resultados obtidos, procurando traduzir em números os conhecimentos gerados pelo pesquisador. Os procedimentos consistem em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis e definir as formas de controle e de observação de efeitos, sendo por tanto a pesquisa classificada de acordo com Prodanov e Fretiras (2013) como experimental, Quantitativa e aplicada.

A pesquisa visa a caracterização de concretos de baixo impacto ambiental e terá como material de estudo concretos com substituição parcial do agregado natural por agregados reciclados de blocos de concreto provenientes de uma fábrica de pré-moldados de concreto de Barra do Garças- MT.

4.1. Recolhimento dos resíduos

Os resíduos para a produção do concreto de agregados reciclados de artefatos, foram recolhidos no pátio de uma empresa de pré-moldados no setor industrial de Barra do Garças, que o forneceu o material já triturado. A Figuras 8.a e 8.b mostram o local onde são triturados e armazenados os resíduos.



(a) Triturador



(b) Resíduos de artefatos triturados

Figura 8 – Triturador e pilha de agregados reciclados
Fonte: Arquivo do Autor (2020)

A composição dos agregados no local de recolhimento era de grande variedade granulométrica, apresentado grande quantidade de agregado miúdo. Foram selecionados os locais cuja incidência da fração de agregados graúdos era visivelmente maior, considerando que era a fração de interesse para esta pesquisa.

4.2. Caracterização dos materiais utilizados

4.2.1. Agregado graúdo natural

O agregado graúdo de seixos utilizado foi disponibilizado pelo Laboratório de Estruturas da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Araguaia.

A pedra natural fornecida era de composição granulométrica variada e do tipo seixo rolado, proveniente da natureza, sem a necessidade de processos mecânicos para a sua obtenção.

Devido ao fato de os agregados comporem a maior porcentagem da matriz de concreto, é fundamental, a realização de ensaios para o maior conhecimento de suas características. Na realização do processo, foram realizados os ensaios de granulometria conforme a ABNT NBR NM 248:2003, e ensaios de absorção de água do agregado conforme a ABNT NBR NM 53:2009.

Inicialmente os agregados naturais foram colocados em estufa a 105±5ºC onde permaneceram por 24 horas, após o processo foram retirados e reservados até que atingissem a temperatura ambiente para fossem então realizados os ensaios de granulometria e absorção de água.

Para a realização do ensaio granulométrico, as amostras foram colocadas na série de peneiras normal definidas pela ABNT NBR 7211:2009, posteriormente foram agitadas manualmente conforme a ABNT NBR NM 248:2003 prevê, após feita a separação granulométrica foram pesadas as massas retidas em cada peneira para posteriormente realizar o cálculo das porcentagens retidas.

O ensaio de absorção do agregado foi feito utilizando a fração graúda do agregado de seixos previamente separada no ensaio de granulometria. O material foi pesado seco, então foi submerso em água, sendo averiguada a variação de massa das amostras após 10 minutos, 30 minutos, e 24 horas imersos, seguindo as normas previstas na ABNT NBR NM 53:2009.

A Figura 9 mostra o material utilizado na confecção dos corpos-de-prova.



Figura 9 – Agregado graúdo natural utilizado
Fonte: Arquivo do Autor (2020)

Para a confecção dos corpos-de-prova foram selecionadas utilizando as serie de peneiras normal, os agregados de seixos correspondentes a brita de numeração 1, retidas na malha de 9mm e passantes na malha de 19 mm.

4.2.2. Agregado graúdo reciclado

O agregado graúdo em questão é proveniente de artefatos de concreto, com uma composição bastante uniforme em relação aos RCC em geral. Devido sua maior absorção de água, formato e textura diferentes dos agregados convencionais, o estudo de suas características é imprescindível para o controle das características do concreto, sendo os dados obtidos de grande valia para possíveis correções. Na realização do processo foram realizados os ensaios de granulometria conforme a ABNT NBR NM 248:2003, e ensaios de absorção de água do agregado conforme a ABNT NBR NM 53:2009.

Inicialmente os agregados reciclados foram colocados em estufa a 105±5ºC, onde permaneceram por 24 horas, após o processo foram retirados e reservados até que atingissem a temperatura ambiente para então serem realizados os ensaios de granulometria e absorção de água.

Para a realização do ensaio granulométrico as amostras foram colocadas na série normal de peneiras definidas pela ABNT NBR 7211:2009, posteriormente foram agitadas manualmente conforme a ABNT NBR NM 248:2003 prevê, após feita a separação

granulométrica foram pesadas as massas retidas em cada peneira para posteriormente realizar o cálculo das porcentagens.

O ensaio de absorção do agregado foi feito utilizando a fração graúda do agregado reciclado previamente separada no ensaio de granulometria. O material foi pesado seco, então foi submerso em água, sendo averiguada a variação de massa das amostras após 10 minutos, 30 minutos, e 24 horas imersos, seguindo as prescrições previstas na ABNT NBR NM 53:2009.

O agregado reciclado de artefatos de concreto possuía composição granulométrica variada. Para a confecção dos corpos-de-prova foram selecionadas utilizando as serie de peneiras normal, as britas correspondentes a numeração 1, retidas na malha de 9mm e passantes na malha de 19 mm, mesma granulometria utilizada para os agregados naturais. A Figura 10 apresenta o material utilizado na fabricação dos corpos-de-prova.



Figura 10 – Agregado graúdo reciclado
Fonte: Arquivo do autor (2020)

O agregado reciclado em questão apresenta uma grande quantidade de argamassa presa ao agregado natural, tendo grande parte dos agregados de menor dimensão apenas argamassa com ausência de agregado natural preso a estrutura.

4.2.3. Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi disponibilizado pelo Laboratório de Estruturas da Universidade Federal do Mato Grosso, Campus Araguaia.

Na realização do processo de caracterização foram realizados os ensaios de granulometria conforme a ABNT NBR NM 248:2003. Inicialmente os agregados miúdos foram colocados em estufa a 105±5ºC , onde permaneceram por 24 horas, após o processo foram retirados e reservados até que atingissem a temperatura ambiente para então serem realizados os ensaios de granulometria.

Para a realização do ensaio granulométrico as amostras foram colocadas na série normal de peneiras definidas pela ABNT NBR 7211:2009, posteriormente foram agitadas em um vibrador mecânico por 5 minutos, conforme a ABNT NBR NM 248:2003 prevê, após feita a separação granulométrica foram pesadas as massas retidas em cada peneira para posteriormente realizar o cálculo das porcentagens retidas.



Figura 11 – Agregado miúdo natural
Fonte: Arquivo do autor (2020)

Para a confecção dos corpos-de-prova foram selecionados utilizando as serie de peneiras normal, os agregados miúdos passantes na peneira de 4,8mm.

4.3. Traço

O traço empregado foi semelhante ao de Gonçalves (2001) e Buttler (2003). O traço aplicado foi o mesmo para todas as amostras, com exceção da relação água/cimento que variou de acordo com o teor de substituição. A Tabela 4 apresenta o traço empregado no concreto de referência.

Tabela 4
Traço do concreto

Cimento	Areia	Agregado Graúdo	Relação A/C
1	1,6	2,5	0,41

Fonte: Construção do autor (2020)

De acordo com Buttler (2003), é necessária uma correção da relação água/cimento para alcançar o valor de abatimento que os concretos convencionais apresentam. Segundo Padovan (2013) não há um consenso quanto a quantidade de água de compensação a ser a utilizada, nem da forma mais adequada de realizá-la.

Para este trabalho foi pré-estabelecido como parâmetro de controle o abatimento de tronco de cone, portanto, cada amostra teve uma relação água/cimento em função do mesmo resultado de abatimento, conforme trabalhos apresentados por Buttler (2003) e Dessuy (2018). Foi tomado como referência o abatimento alcançado na amostra do concreto de referência sendo estabelecido assim um padrão para todas as amostras subsequentes.

4.4. Produção dos corpos-de-prova

A confecção dos corpos-de-prova foi realizada após a mistura dos materiais utilizados na produção do concreto com seixo e no concreto com agregados reciclado de artefatos. Durante o processo foi adotada uma sequência especifica na colocação dos materiais, conforme Buttler (2003), como mostra o Quadro 4.

Lançamento	Materiais	Tempo de Mistura
Primeira Etapa	Agregado graúdo + Parte da água	1 minuto
Segunda Etapa	Cimento + Agregado Miúdo	1 minuto
Terceira Etapa	Restante da Água	1 minuto

Quadro 4 – Processo de mistura
Fonte: Buttler (2003)

De acordo com Gonçalves (2001), a mistura do agregado junto com água é importante devido a absorção de água pelos agregados, em especial os agregados reciclados.

Após a mistura iniciou-se o processo de moldagem dos corpos-de-prova conforme a ABNT NBR 5738:2015. Foram utilizados para o presente trabalho moldes de PVC nas dimensões de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura.

Os moldes foram preenchidos com concreto até a metade, então foram desferidos 12 golpes uniformes utilizando uma haste para compactar o material. Em seguida foi preenchido o restante do corpo-de-prova e repetido o processo de compactação. Por fim utilizando uma colher de pedreiro foi retirado o excesso de concreto, e posteriormente os corpos-de-prova (CP) foram reservados por 24 horas antes de serem desenformados, conforme prevê a ABNT NBR 5738:2015. A Figura 12 mostra os CP após a sua confecção.



Figura 12 – Corpos de prova em molde
Fonte: Arquivo do Autor (2020)

Passadas 24 horas em repouso em local plano os CP foram desformados e submetidos ao processo de cura úmida, nas condições pré-estabelecidas pelas ABNT NBR 5738:2015, até a data de rompimento dos mesmos aos 28 dias, conforme previsto para concretos. A Figura 13 mostra o tanque de cura utilizado.



Figura 13 – Tanque de cura
Fonte: Arquivo do Autor (2020)

Foram confeccionados 6 CP para cada teor de substituição, sendo que destes 6 CP, 3 foram destinados aos ensaios de compressão e 3 destinados aos ensaios de absorção por capilaridade. Os ensaios de resistência a compressão e absorção por capilaridade foram realizados nas dependências da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Araguaia, no Laboratório de Estruturas.

4.5. Ensaio de resistência a compressão

O ensaio foi realizado em uma prensa hidráulica onde os 3 CP de cada teor de substituição foram centralizados no prato inferior devidamente limpos e secos com o material para regularização de Neoprene na parte mais irregular do CP. posteriormente os CP foram submetidos a uma força de compressão uniforme até a sua ruptura conforme prescrito na ABNT NBR 5739:2018. A Figura 14 mostra o corpo-de-prova posicionado na prensa.



Figura 14 – Prensa Hidráulica
Fonte: Arquivo do Autor (2020)

Após obtenção dos resultados do ensaio foi obtida a resistência a compressão do concreto através da Equação (1), descrita no tópico 3.4.3, conforme estabelece a ABNT NBR 5739:2018.

Posteriormente a obtenção dos valores de força de compressão simples, foram determinados os valores de resistência média a compressão do concreto. Os resultados de compressão simples foram apresentados em função do teor de substituição da amostra.

4.6. Determinação da absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade foi realizado conforme a ABNT NBR 9779:2012. Foram utilizados 3 corpos de prova para cada teor de substituição, os corpos de prova foram postos em estufa à temperatura de 105±5ºC com o intuito de se obter a constância de massa dos mesmos. Ainda conforme a norma em vigor, considera-se a massa constante quando a diferença entre duas pesagens consecutivas do mesmo corpo-de-prova, entre períodos de 24 h de permanência na estufa, não exceder 0,5% do menor valor obtido.

Ainda conforme a ABNT NBR 9779:2012, os corpos de prova foram imersos a 5±1 mm acima da sua face inferior. A Figura 15 mostra os corpos de prova durante o ensaio.



Figura 15 – Realização do ensaio de absorção por capilaridade
Fonte: Arquivo do Autor (2020)

Posteriormente tiveram suas massas aferidas nos períodos de 3h, 6h, 24h, 48h e 72h a partir do seu primeiro contato com água. Através desses parâmetros foi possível obter os valores de absorção de água por capilaridade através da Equação (2), descrita no tópico 3.4.4.

Os resultados foram obtidos fazendo a diferença da massa do CP em contato com água com a do CP seco dividido pela área da seção transversal, os resultados foram expressos em uma curva de comparação da absorção pelo tempo.

4.6.1. Ascenção por capilaridade

Após as pesagens consecutivas para chegou-se ao valor de absorção de água por capilaridade, os CP foram rompidos diametralmente para medir a ascensão capilar da água dentro do CP. A Figura 16 mostra o processo de rompimento na prensa hidráulica e a Figura 17 o corpo de prova após o rompimento.



Figura 16 – Rompimento diametral
Fonte: Arquivo do Autor (2020)



Figura 17 – Ascensão por capilaridade em corpos de prova
Fonte: Arquivo do Autor (2020)

Após medir com uma régua a altura da ascensão dos CP foi feito uma média aritmética para definir a média de cada teor em cm.

5. RESULTADOS

5.1. Ensaios granulométricos

5.1.1. Agregados graúdos

Nas Tabelas 5 e 6, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios adaptados de granulometria dos agregados de seixos e agregados reciclados, conforme a ABNT NBR NM 248:2003.

Tabela 5
Ensaio de granulometria do agregado de seixos

ENSAIO DE GRANULOMETRIA		
PENEIRA (mm)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
25	0	0
19	8,25	8,25
9,5	59,75	68
4,75	27,25	95,25
	4,75	100
DM – Diâmetro Máximo = 19 mm		

Fonte: Construção do Autor (2020)

Tabela 6
Ensaio de granulometria do agregado reciclado

ENSAIO DE GRANULOMETRIA		
PENEIRA (mm)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
25	0	0
19	1,415	1,415
9,5	31,35	32,765
4,75	38,45	71,21
	28,78	100
DM – Diâmetro Máximo = 19 mm		

Fonte: Construção do Autor (2020)

Analisando os resultados é possível observar que o agregado de seixos tem em sua composição 68% da amostra corresponde a brita 1, já o agregado reciclado tem 32,76% da

amostra correspondente a brita 1. Portanto o agregado reciclado apresenta uma maior quantidade de finos em relação aos agregados naturais, fato esse observado também por Malta (2012). O Gráfico 1, apresenta uma comparação das porcentagens retidas em cada peneira entre o agregado reciclado e o agregado de seixos.

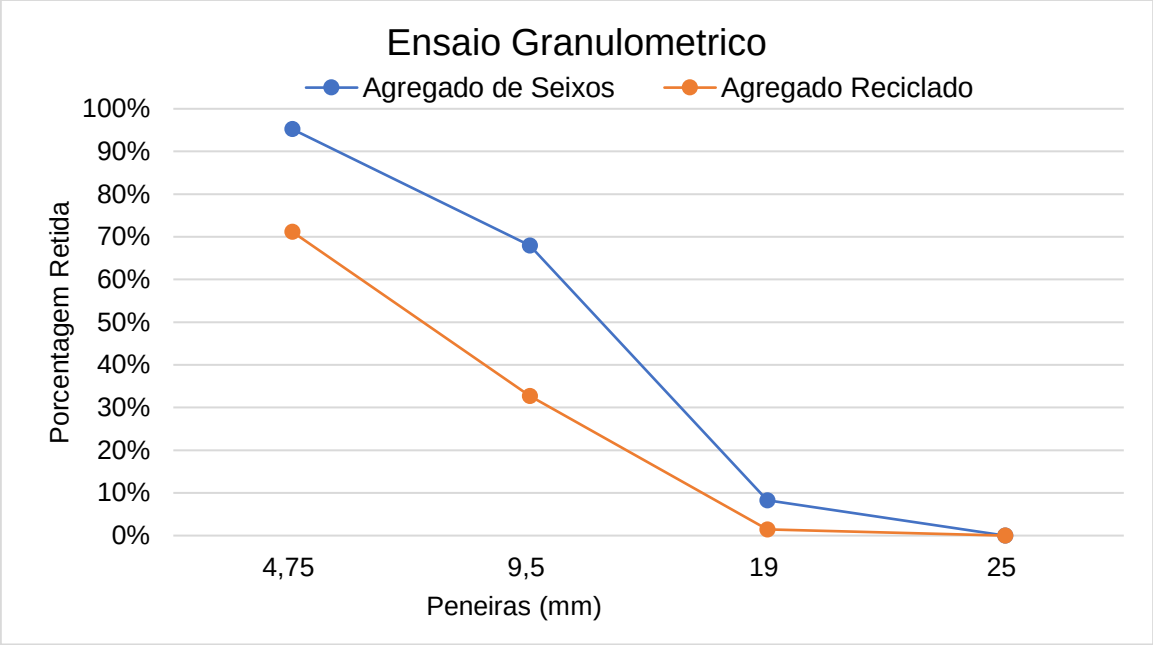


Gráfico 1 – Resultados do ensaio granulométrico do agregado graúdo
Fonte: Construção do Autor (2020)

No gráfico é possível observar que a curva granulométrica do agregado natural se mantem sempre acima da do agregado reciclado, indicando uma maior dimensão do mesmo. A diferença de granulometria do agregado reciclado, de acordo com Leite (2001), pode ser influência do britador utilizado para o beneficiamento do material. Para Neville (2016), não há dúvidas de que a granulometria dos agregados influenciem tanto nas características do concreto fresco, como a trabalhabilidade, assim como nas características do concreto endurecido, afetando a resistência, retração e durabilidade.

5.1.2. Agregado miúdo

Na Tabela 7 são apresentados os resultados do ensaio de granulometria do agregado miúdo conforme a ABNT NBR NM 248:2003 prescreve.

Tabela 7
Ensaio Granulométrico do agregado miúdo

Peneira – Série ABNT	**AMOSTRA 1**		**AMOSTRA 2**		**MEDIAS**	
	Massa retida (g)	% Retida	Massa retida (g)	% Retida	% Retida	% Retida
4,75	36,4	1,82	53,4	2,67	2,25	2,25
2,36	46,9	2,35	47,2	2,36	2,35	4,6
1,18	82,9	4,46	92,3	4,62	4,54	9,14
0,6	279,4	13,97	300,8	15,04	14,51	23,64
0,3	1096,3	54,82	1110,9	55,55	55,18	78,82
0,15	417,1	20,86	360,2	18,01	19,43	98,25
Fundo	34,7	1,74	35,2	1,76	1,75	100
Total (g)	2000	100	2000	100	100	316,69
Massa Total (g)	2000		2000		2000	
Mf – Modulo de Finura = 3,17						
DMC – Dimensão Máxima Característica = 2,36						

Fonte: Construção do Autor (2020)

Com base nos resultados obtidos é possível chegar a algumas conclusões sobre material utilizado. De acordo com a ABNT NBR 7211:2009, o modulo de finura apresentado está dentro da zona utilizável superior, podendo assim o agregado miúdo ser classificado como areia média. Com estes resultados também é possível avaliar o agregado miúdo conforme os limites de distribuição granulométrica, conforme prevê a ABNT NBR 7211:2009. O Gráfico 2 apresenta a curva granulométrica do agregado miúdo em comparação com os limites de distribuição para uso em concreto estabelecidos pela norma.

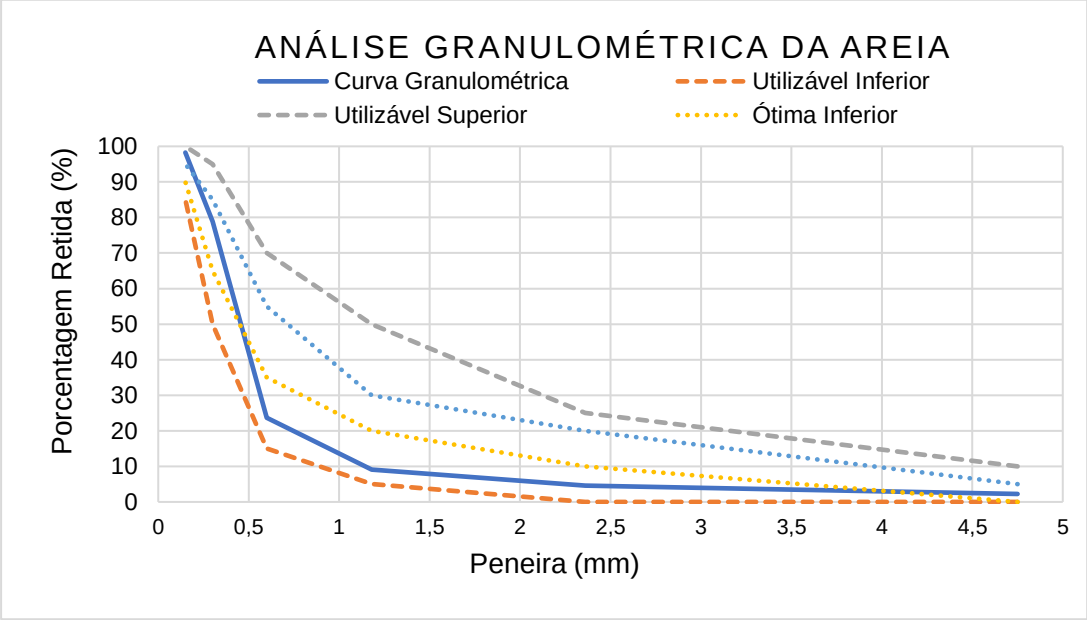


Gráfico 2 – Resultados do ensaio granulométrico do agregado miúdo
Fonte: Construção do Autor (2020)

É possível observar que a curva granulométrica do agregado se mantem entre as linhas de ótima inferior, e ótima superior, até cerca de 0,5 mm, ficando posteriormente a maior parte do gráfico entre as linhas ótima inferior, e utilizável inferior, logo conforme os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR NM 248:2003, o agregado miúdo se caracteriza como de fração fina predominante e é adequado para uso em matrizes de concreto.

5.1.3. Ensaio de absorção dos agregados graúdos

Nas Tabelas 8 e 9 são apresentados os resultados de absorção dos agregados de seixos e agregados reciclados de acordo com ABNT NBR NM 53:2009.

Tabela 8
Absorção de Água do agregado de seixos

Tempo	% Absorção de Água
10 minutos	1,01
30 minutos	1,12
24 Horas	1,58

Fonte: Construção do Autor (2020)

Tabela 9
Absorção de Água do agregado reciclado

Tempo	% Absorção de Água
10 minutos	4,39
30 minutos	4,55
24 Horas	5,37

Fonte: Construção do Autor (2020)

Os valores obtidos no ensaio de absorção dos agregados reciclados foram maiores que nos agregados de seixos. Gonçalves (2001) obteve uma porcentagem de absorção de 4,9%, utilizando a fração graúda de agregados reciclados de concreto. Já Dessuy (2018) em seus estudos substituindo o agregado natural por RCC mistos, obteve um resultado de absorção de 11,03%. Resultados como estes reforçam a tese de que os agregados reciclados de concreto absorvem menos água que os RCC em geral, sendo um resíduo mais homogêneo e com características mais nobres.

O Gráfico 3 apresenta o comparativo entre a taxa de absorção dos agregados de seixos e reciclados.

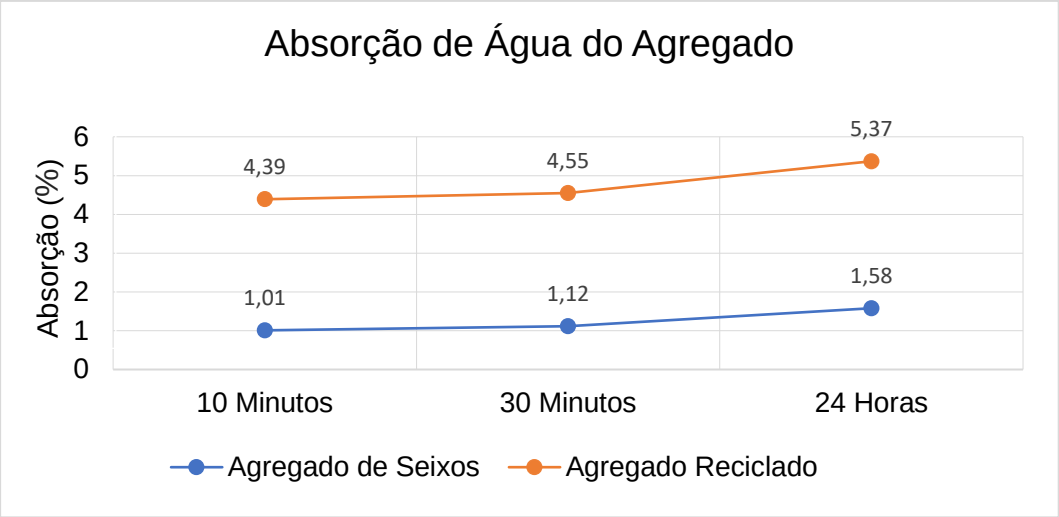


Gráfico 3 – Absorção do agregado de seixos e do agregado reciclado
Fonte: Construção do Autor (2020)

Analisando os resultados, é possível observar que 63,92% do total de água foi absorvido pelos agregados de seixos nos 10 primeiros minutos de ensaio, já para agregado reciclado este valor foi de 81,75%. Os resultados reforçam a tese de que os agregados reciclados são mais porosos que os agregados naturais, com o agregado reciclado apresentando uma absorção de água aproximadamente 3 vezes maior que a do agregado de seixos.

De acordo com De Pauw et al. (1998, apud Buttler, 2003) os agregados reciclados absorvem uma maior quantidade da água da mistura, reduzindo assim a trabalhabilidade do concreto fresco, os autores recomendam determinar a quantidade de água absorvida através de testes experimentais para minimizar os efeitos da maior absorção.

5.2. Relação água/cimento e abatimento de tronco de cone

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone, e o valores da relação água/cimento (água/cimento) que foram necessários para correção do abatimento dos concretos produzido com substituição parcial do agregado natural por agregado reciclado, visando garantir a quantidade de água necessária para hidratação do cimento e corrigir a absorção do agregados reciclados, conforme o método adotado por Dessuy (2018) e Buttler (2003), ambos substituindo os agregados naturais por agregados reciclados da construção civil.

Tabela 10
Relação água/cimento e Abatimento

Amostra	Relação A/C	Abatimento
Concreto Base	0,41	100 mm
5% de Substituição	0,43	100 mm
10% de Substituição	0,44	105 mm
15% de Substituição	0,45	95 mm
20% de Substituição	0,46	95 mm

Fonte: Construção do Autor (2020)

O teor de substituição de 20% necessitou de uma relação água/cimento 11,36% maior para atingir o abatimento do concreto de referência. Esse comportamento reside no fato de, conforme Oliveira (2012) e Padovan (2013), os agregados reciclados são mais porosos e, portanto, absorverem uma maior quantidade de água em relação aos agregados naturais. O Gráfico 4 apresenta a relação entre a quantidade de água em litros adicionada para 5kg de cimento e a porcentagem de substituição dos agregados.

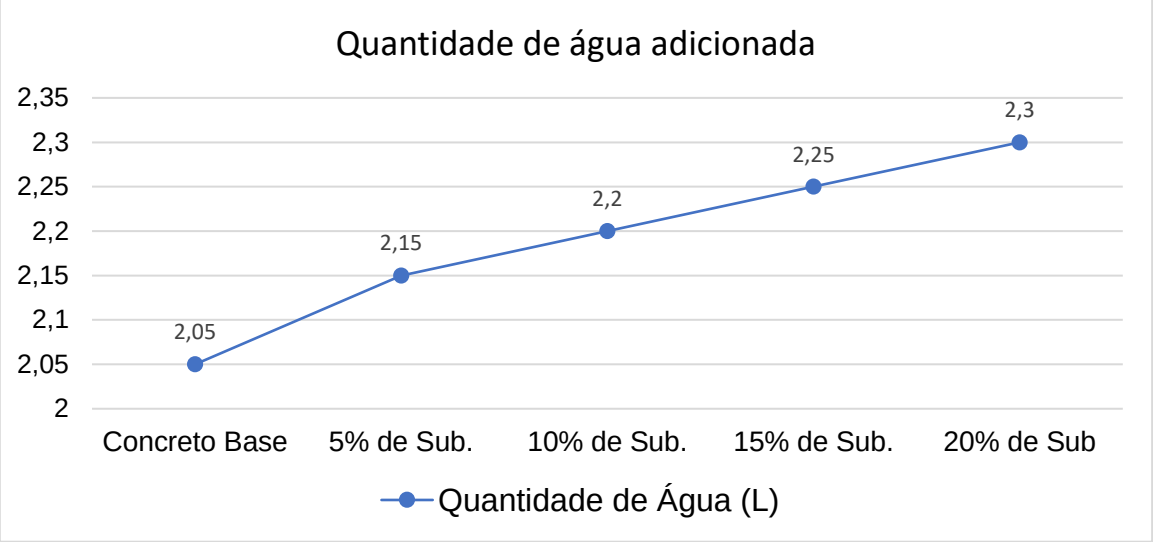


Gráfico 4 – Quantidade de água por amostra
Fonte: Construção do Autor (2020)

Foi necessário um acréscimo de 250 ml de água entre a amostra de referência e a amostra com teor de substituição de 20% para se alcançar os parâmetros de abatimento estabelecidos e compensar a maior absorção dos agregados, seguindo recomendações de Dessuy (2018) e Padovan (2013).

5.3. Ensaio de resistência à compressão

A Tabela 11 apresenta o resultado do ensaio de resistência à compressão centrada regido pela ABNT NBR 5739:2018. Destaca-se que nessa tabela estão apresentados os resultados individuais e a média do ensaio de compressão.

Tabela 11
Ensaio de resistência a compressão

Substituição/ Resistencia (Mpa)	CP-1	CP-2	CP-3	Média	Desvio Padrão
Concreto de Referência	22,2	26,4	24,45	24,35	2,11
5% de Substituição	22,91	25,27	21,91	23,36	1,72
10% de Substituição	21,65	22,7	22,5	22,28	0,56
15% de Substituição	22,79	21,35	20,68	21,60	1,08
20% de Substituição	19,49	22,9	24,27	22,22	2,46

Fonte: Construção do Autor (2020)

As amostras com teor de substituição de 20% apresentaram o maior valor de desvio padrão, seguidas do concreto de referência. No Gráfico 5 estão apresentados os valores de resistência média aos 28 dias de todas as amostras.

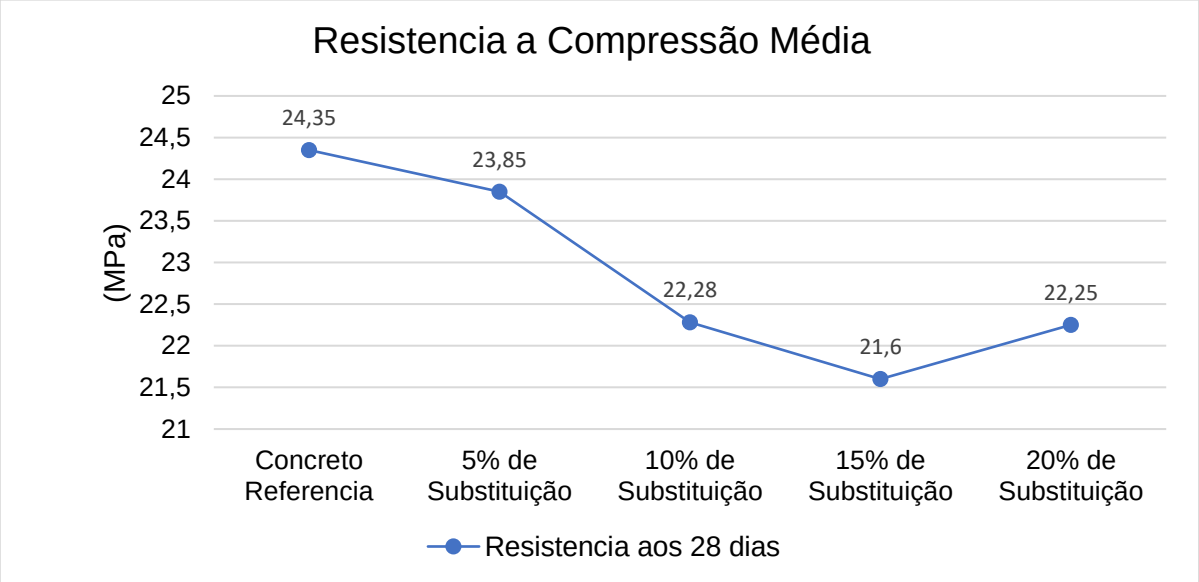


Gráfico 5 – Resultados do ensaio de resistência a compressão
Fonte: Construção do Autor (2020)

Considerando as médias de cada traço estudado, observa-se no Gráfico 2 que a substituição parcial de 5% ainda permitiu resistência a compressão média de aproximadamente 97,95% com relação ao concreto de referência, para o teor de 10% o valor foi de 91,5%, para o teor de 15% o valor de 88,7%, e para o teor de substituição de 20% a resistência foi igual a 91,38% da resistência do concreto de referência.

Observa-se uma perda de resistência nos concretos de agregados reciclados de artefatos de acordo com o aumento do teor de substituição, no entanto a resistência obtida nas amostras está dentro dos parâmetros mínimos da ABNT NBR 6118:2014.

Autores como Leite (2001), Lovato (2007) e Dessuy (2018) também obtiveram resultados semelhantes, indicando a diminuição da resistência com o aumento do teor de substituição. Já Buttler (2003) obteve resultados positivos de resistência a compressão em suas pesquisas com algumas porcentagens de substituição do agregado graúdo e miúdo natural por agregados reciclados. Gonçalves (2001) ressalta que as características como a resistência do material que originou o resíduo influenciam nos resultados, sendo necessários estudos específicos quanto a cada tipo de resíduo utilizado para descobrir assim sua melhor aplicação.

Os resultados de resistência obtidos podem ter sido influenciados pela relação água/cimento, mas principalmente a perda de resistência do concreto de agregados reciclados de artefatos, em relação ao concreto tradicional pode ser atribuída a maior porosidade dos agregados reciclados utilizados. As Figura 18 e Figura 19 mostram respectivamente um corpo-de-prova rompido diametralmente e a comparação entre o agregado de seixo e agregado reciclado na matriz de concreto.



Figura 18 – Corpo de prova rompido
Fonte: Arquivo do Autor (2020)



Figura 19 – Agregado graúdo natural e reciclado
Fonte: Arquivo do Autor (2020)

Na Figura 19 é possível observar a maior porosidade macroscópica do agregado reciclado (a direita) em comparação com o agregado de seixos (a esquerda), porosidade essa que depende muito das características do material que gerou o resíduo.

5.4. Ensaio de Absorção por Capilaridade

No Gráfico 6 são apresentados os resultados obtidos do ensaio de absorção de água por capilaridade, obtidos através de uma média aritmética entre os 3 corpos-de-prova ensaiados após 28 dias de cura, sujeito aos procedimentos indicados pela ABNT NBR 9779:2012 e expressos em g/cm2.

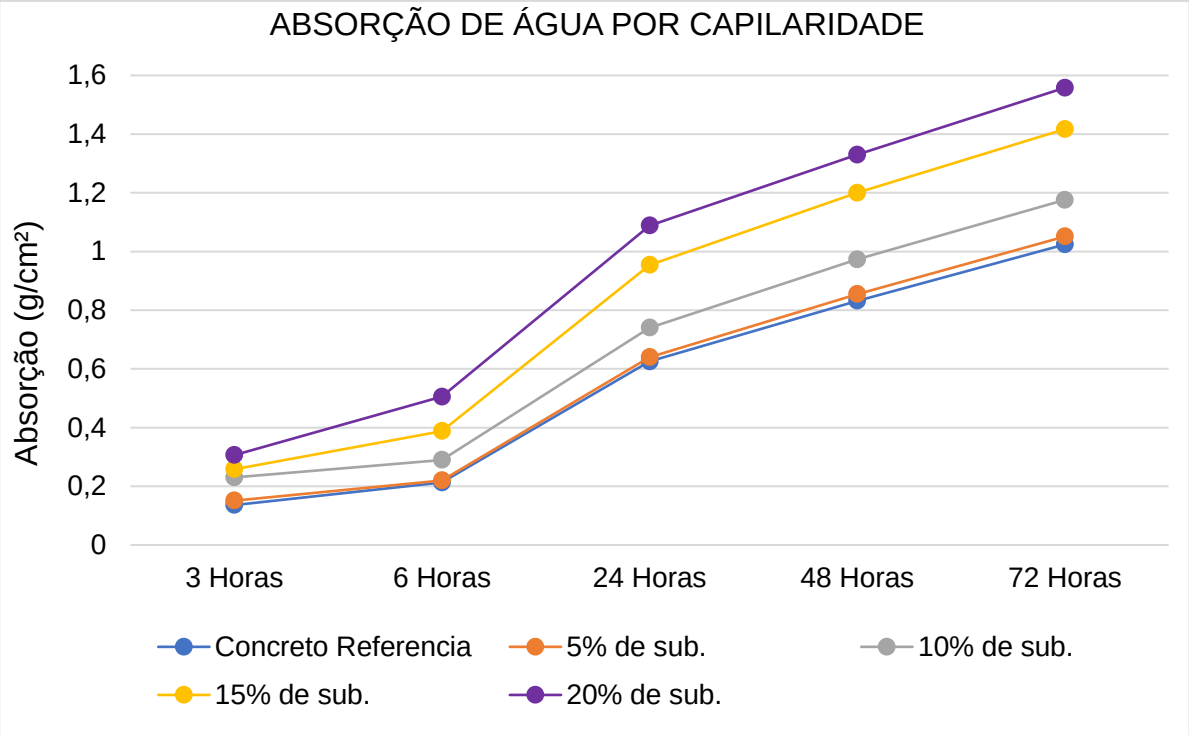


Gráfico 6 – Absorção de água por capilaridade das amostras
Fonte: Construção do Autor (2020)

Os maiores valores de absorção por capilaridade foram constados nas amostras com 20% de substituição do agregado natural por agregado reciclado, os resultados vão diminuindo de acordo com a redução da taxa de substituição dos agregados.

Os valores do concreto referência e do concreto com 5% de substituição apresentaram valores semelhantes, e a diferença de valores entre eles quase não se alterou com o passar das horas, de forma que, na pesagem das 3 horas a absorção por capilaridade do teor de 5% foi 11,8%, maior que a do concreto referência na mesma aferição, na pesagem feita as 6 horas a diferença foi de 3,4%, na pesagem feita as 24 horas a diferença foi de 2,3%, na pesagem feita as 48 horas a diferença foi de 2,8%, e na pesagem das 72 horas a diferença foi de 2,6%.

Quando compara-se o concreto referência com o concreto com teor de substituição de 20% os valores se alteram em grandes proporções, para a pesagem das 3 horas o teor de 20% obteve um resultado 125% superior a do concreto de referência, na pesagem das 6 horas a diferença foi de 137%, na pesagem realizada as 24 horas a diferença foi de 74%, na pesagem realizada as 48 horas a diferença foi de 60%, na pesagem realizada as 72 horas a diferença foi de 52,14%.

Nos Gráficos 7, 8, 9, 10 e 11 são apresentados os resultados individuais de absorção por capilaridade para cada aferição realizada.

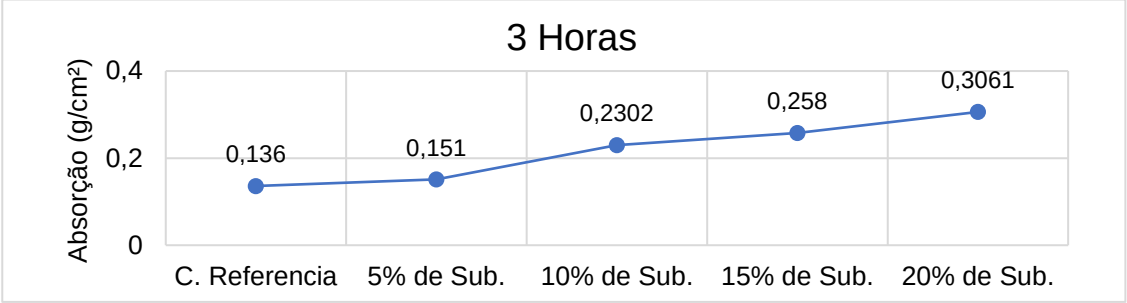


Gráfico 7 – Pesagem após 3 horas
Fonte: Construção do Autor (2020)

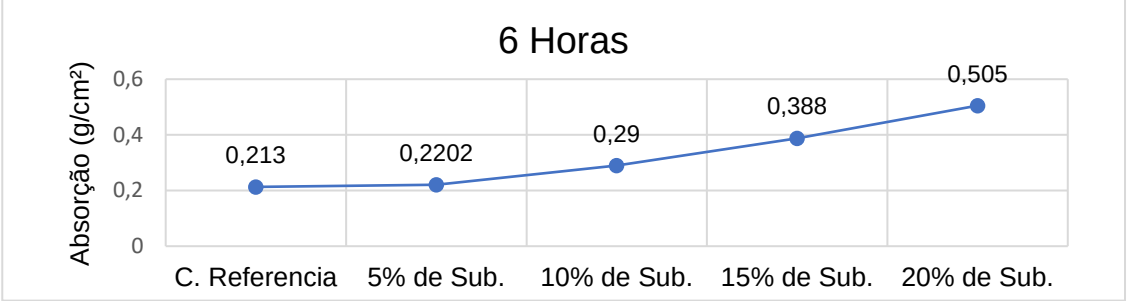


Gráfico 8 – Pesagem após 6 horas
Fonte: Construção do Autor (2020)

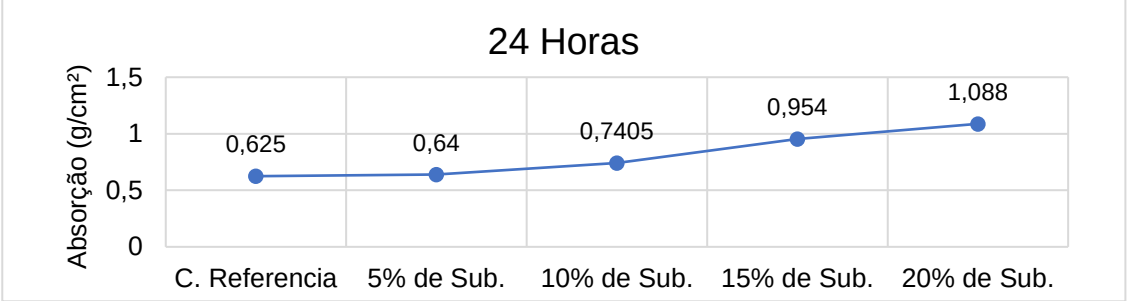


Gráfico 9 – Pesagem após 24 horas
Fonte: Construção do Autor (2020)

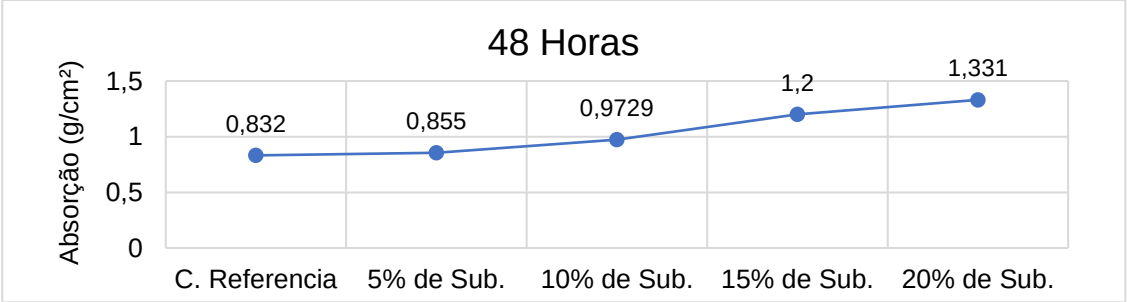


Gráfico 10 – Pesagem após 48 horas
Fonte: Construção do Autor (2020)

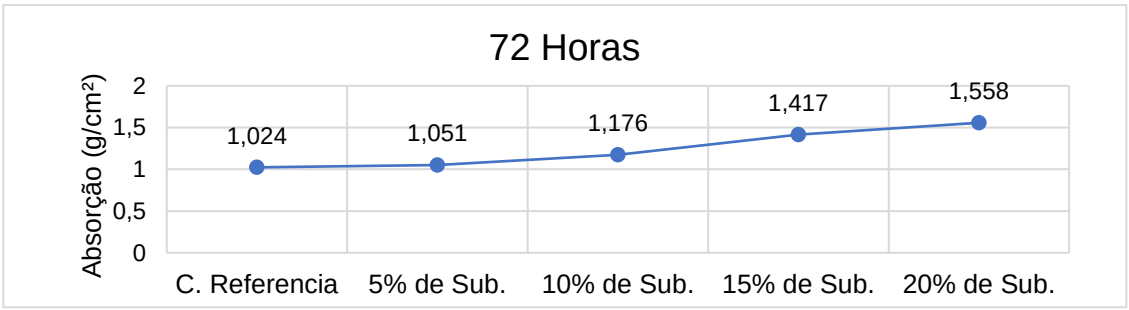


Gráfico 11 – Pesagem após 72 horas
Fonte: Construção do Autor (2020)

No concreto com teor de 20% de substituição, a absorção por capilaridade nas primeiras 3 horas foi de 19,64% do total absorvido em todo ensaio, já para o concreto referência, para a mesma hora de aferição o valor foi de 13,28%, inferior ao de todas as amostras com substituição. O resultado indica que o concreto de agregados reciclados além de absorver uma maior quantidade de água, também o absorve de maneira mais rápida que o concreto referência.

Os resultados obtidos no ensaio de absorção por capilaridade eram esperados, visto que autores como Padovan (2015), Buttler (2003), Reis (2009) e Dessuy (2018), chegaram a mesmas conclusões quanto a maior absorção dos concretos de agregados reciclados.

O concreto com teor de substituição de 5% apresentou resultados com grande proximidade do comportamento de absorção do concreto de referência, apresentando valores de absorção no final do ensaio apenas 2,64% superior.

5.5. Ascenção por capilaridade

Os resultados da ascensão por capilaridade em cm são expressos na Tabela 12 conforme o procedimento realizado segundo a ABNT NBR 9779:2012.

Tabela 12
Ascenção por capilaridade

Amostras	**Concreto Base**	**5 % de Sub.**	**10 % de Sub.**	**15 % de Sub.**	**20 % de Sub.**
A	7 cm	8 cm	8 cm	8,5 cm	9 cm
B	8,5 cm	7,5 cm	8 cm	8 cm	8,5 cm
C	7 cm	8,5 cm	9 cm	8 cm	8 cm
Média	7,5 cm	8 cm	8,5 cm	8,167 cm	8,5 cm

Fonte: Construção do Autor (2020)

Observa-se que os concreto de agregados reciclados de artefatos, apresentaram maior valores de ascensão por capilaridade quando comparados ao concreto base, resultado já esperado devido a maior absorção por capilaridade.

5.6. Possíveis aplicações do concreto de agregados reciclados de artefatos

A partir dos ensaios realizados foi possível ter uma noção inicial das características e possíveis aplicações do concreto de agregados reciclados de artefatos, no entanto são necessários mais ensaios e investigação de diferentes traços e quanto as suas demais características para que então o material possa ser aplicado dentro da construção civil.

Apesar dos resultados de resistência inferiores ao do concreto referência, o percentual de 5% de substituição apresentou bons resultados por meio dos ensaios realizados, e deram indicativos de que o mesmo possa vir a ter aplicações estruturais. Pode-se indicar, como alternativa para trabalhos futuros o estudo da aplicação deste material como pavimentos intertravados de concreto onde características, como maior porosidade, observadas nos concretos de agregados reciclados de artefatos, são tidas como vantajosas, respeitando sempre os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 15953:2011. A Figura 20 mostra dois modelos de pisos intertravados de concreto.

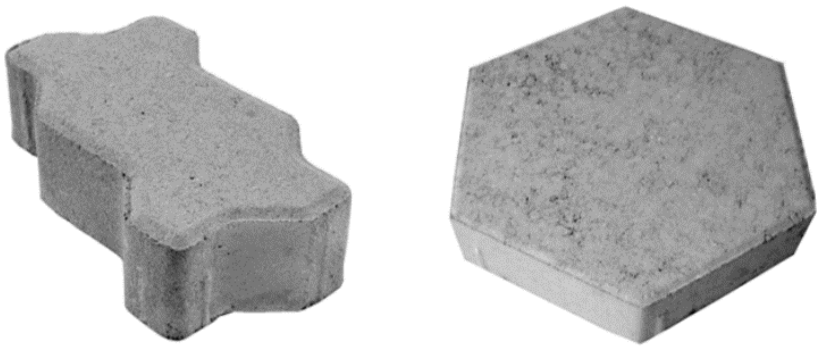


Figura 20 – Paver de concreto
Fonte: Mega Mix Concreto (2020)

De acordo com Purificação (2009), em seus estudos avaliando a resistência de paver de concreto com 100% de agregados reciclados, o autor afirma que inicialmente não foi observado nenhum fator que possa inviabilizar a utilização deste material para esta finalidade, sendo necessário, porém, mais estudos quanto ao material.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo utilizar agregados reciclados de concreto de origem fabril na forma de agregado graúdo nas próprias matrizes de concreto sem que esse afetasse de maneira significativa suas características consideradas essenciais. Em relação aos resultados obtidos e levando em conta os objetivos pré-estabelecidos chegou-se as seguintes conclusões:

Através dos ensaio de abatimento chegou-se à conclusão que os concretos de agregados reciclados de artefatos de fato necessitaram de uma relação água/cimento maior que o concreto de referência para atingirem o abatimento estabelecido, conforme apontado por Buttler (2003) e Dessuy (2018), sendo as amostras com maiores teores de substituição a requererem um maior acréscimo de água. Pode-se atribuir estes resultados a maior absorção de água dos agregados reciclados em relação aos agregados de seixos.

Através dos ensaios de resistência a compressão se chegou à conclusão de que o concreto de agregados reciclados de artefatos apresentou uma perda de resistência em relação ao concreto de base. No entanto o teor de substituição de 5% apresentou bons resultados chegando a alcançar cerca de 98% da resistência média do concreto de referência.

Através dos ensaios de absorção por capilaridade se chegou à conclusão de que o concreto de agregados reciclados apresentou maiores valores de absorção por capilaridade, indicando que o material sintetizado é mais poroso. Os valores de absorção foram crescendo de acordo com o aumento do teor de substituição, atribui-se isso ao fato da maior porosidade dos agregados reciclados. O teor de 5% de substituição apresentou resultados muito próximo ao do concreto de referência, já o teor de 20% de substituição foi expressivamente superior aos demais resultados, indicando ser um material bem mais poroso, o que pode ter contribuído para a perca da resistência.

O teor de 5% apresentou os melhores resultados dentre as amostras sintetizadas, apresentando diferenças mínimas em relação ao concreto de referência, podendo vir a ter futuras aplicações, no entanto são necessários mais ensaios e traços sobre o material.

Segue como sugestão para trabalhos futuros a aplicação do material como paver de concreto, com uma nova dosagem visando maiores valores de resistência, realização de ensaios de compressão do novo material, e ensaios de absorção e infiltração do pavimento confeccionado, atendendo assim as regras da ABNT NBR 9781:2013.

Os concretos de agregados reciclados de artefatos de concreto obtiveram bons resultados quanto a sua resistência, comprovando a possibilidade de sua utilização nas matrizes de concreto, representando mais uma contribuição no estudo de agregados reciclados, visando a busca da sustentabilidade ambiental na construção civil.

APENDICE A – RESULTADOS INDIVIDUAIS DE ABSORÇÃO

Tabela 13
Ensaio de absorção por capilaridade

Tempo	Concreto Base	5% de sub.	10% de sub.	15% de sub.	20% de sub.
3 Horas	0,136	0,151	0,2302	0,258	0,3061
6 Horas	0,213	0,2202	0,290	0,3881	0,505
24 Horas	0,625	0,64	0,7405	0,954	1,088
48 Horas	0,832	0,855	0,9729	1,2	1,331
72 Horas	1,024	1,051	1,176	1,417	1,558

Fonte: Construção do Autor (2020)

REFERÊNCIAS

ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. (2016). **Panorama das usinas de reciclagem de RCD no Brasil:** A Pesquisa Setorial ABRECON 2014/2015. São Paulo. SP. Disponível em: http://abrecon.org/pesquisa_setorial. Acesso em: Acesso em: 02 jan. 2020.

AMORIM, P. M. E. **Influência das condições de cura no desempenho em termos de durabilidade de betões com agregados reciclado de betão**. 2008. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. ABRELPE, 2018. 74 p. Disponível em: http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf. Acesso em: 02 jan. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM - ABESC (2001). **Concreteiras tem Programas de Gestão Ambiental**. Disponível em: http://abesc.org.br/meio/gestao.htm. Acesso em: 02 jan. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739**: Rio de Janeiro, 2018. 4p. Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

_____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015. 23 p.

_____. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004. 9 p.

_____. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009. 8 p.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

_____. **NBR NM ISSO 3310-1**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação. Rio de Janeiro, 2010. 20 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON**). O que é entulho**? ABRECON, 2016. Disponível em: https://abrecon.org.br/entulho/o-que-e-entulho/. Acesso em: 02 jan. 2020.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO (ANEPAC). **O Mercado de Agregados no Brasil**. ANEPAC, 2014. 11 p. Disponível em: https://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/8-mercado-de-agregados-no-brasil. Acesso em: 02 jan. 2020.

BACCI, D. C; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. **Aspectos principais e impactos de pedreira em área urbana**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 1, n.59, p. 47 - 54, jan./mar. 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/rem/v59n1/a007.pdf. Acesso em: 13 de set. 2019.

BASTOS, L. W. **Análise de Custos dos Desperdícios na Construção Civil**. 2015. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso-Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2015. Disponível em: http://w3.ufsm.br/engproducao/images/Luisa_W_Bastos_-_93.pdf. Acesso em: 02 jan. 2020.

BUTTLER, A. M. **Concreto com Agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. São Carlos, 2003. (Dissertação de mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia São Carlos – Universidade de São Paulo, 2003. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-06082003-172935/publico/buttler.pdf. Acesso em: 02 de jan. 2020.

CAPELLO, G. **Entulho vira matéria-prima**. Téchne, São Paulo, ed. 112, jul. 2006. Disponível em: http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/112/artigo287081-1.aspx. Acesso em: 09 nov. 2019. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96512/000915919.pdf;jsessionid=28F39907E961DB7E1B445E8C83520818?sequence=1. Acesso em: 10 de fev. 2020.

CAVALHEIRO, A. P. **Contribuição para a implementação de agregado reciclado de uma empresa de pré-fabricados de concreto.** 2011. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Eng. Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011. Disponível em: http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/3024/AlessandraPachecoCavalheiro.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 11 de fev. 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **RESOLUÇÃO Nº 307, de 5 de julho de 2002. Alterada pela Resolução Nº 469/2015, Resolução Nº 448/2012, 77 Resolução Nº 431/2011 e Resolução Nº 348/2004**. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307. Acesso em 10 out. 2019.

CORDEIRO, L.N.P. **Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto**. 2013. 127 f.

Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96512/000915919.pdf;jsessionid=28F39907E961DB7E1B445E8C83520818?sequence=1. Acesso em: 11 de fev.2020.

_____. **RESOLUÇÃO Nº 348, de 16 de agosto de 2004.** Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307. Acesso em: 07 out. 2019.

_____. **RESOLUÇÃO Nº 431, de 24 de maio de 2011.** Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307. Acesso em: 07 out. 2019.

_____. **RESOLUÇÃO Nº 448, de 18 de janeiro de 2012.** Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307. Acesso em: 07 out. 2019.

_____. **RESOLUÇÃO Nº 469, de 29 de julho de 2015.** Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307. Acesso em: 07 out. 2019.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e Propriedades do Betão**. Vol. I. ed. LNEC. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 1997. 610 p.

DESSUY, T. Y. **DESEMPENHO MECÂNICO, ADERÊNCIA AÇO-CONCRETO E DURABILIDADE DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO NATURAL POR RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC).** 2018. 100 f. TCC (Graduação) - Curso de Eng. Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2018. Disponível em: http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6020/Thain%C3%A1%20Yasmin%20Dessuy.pdf?sequence=1. Acesso em: 11 de fev.2020.

DINIZ, J. Z. F. Concreto: **Material Construtivo Mais Consumido no Mundo**. IBRACON, n.53, 2009. Disponível em: http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2020.

SILVA. Sumário Mineral Brasileiro**. Agregados para construção civil**. Brasília, 2011. Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais Acesso em 28 de set. 2019.

DUAILIBE, G. J. **Avaliação de propriedades hidrodinâmicas em materiais granulares e argamassas com cinza pesada e agregado reciclado**. 2008. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91858/255426.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 de fev. 2020.

FARRIA, P. **Argamassas de cal e terra: características e possibilidades de aplicação**. *Ambient. constr.* [online]. 2018, vol.18, n.4, pp.49-62. ISSN 1678-8621.

Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400292. Acesso em: 27 de set. 2019.

FERREIRA, A. R. L.; LIMA, F. M. R. S. **Impactos Ambientais e Econômicos dos Agregados Naturais e Reciclados na Construção Civil**. UFRJ. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: FERREIRA, A. R. L.; LIMA, F. M. R. S. **Impactos Ambientais e Econômicos dos Agregados Naturais e Reciclados na Construção Civil**. UFRJ. Rio de Janeiro. 2013. Acesso em: 10 de fev. 2020.

FONSECA, G.C; GOMES, A.M. **A Visão de Sustentabilidade das Escórias de alto-forno no Brasil**: Análise crítica DEMC - UFMG. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-8ALHAQ/1/disserta__o_mestrado_gustavo.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2020.

GONÇALVES, R.D.C**. Agregados reciclados de resíduos de concreto – Um novo material para dosagens estruturais.** 2001. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa De Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2001. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-06052016-150748/publico/Dissert_Goncalves_RodrigoDC.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2020.

GROHMANN, M. Z. **Redução do desperdício na construção civil: levantamento das medidas utilizadas pelas empresas de Santa Maria.** In: Anais do XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998, Niterói. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1998_art302.pdf. Acesso em 13 set. 2019.

HELENE, PAULO; ANDRADE, TIBÉRIO. **Concreto de Cimento Portland**. In: Geraldo C. Isaia. (Org.). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. 3ª ed. Revisada e Atualizada. São Paulo: Ibracon, 2017, v.II, p. 970-1005. ISBN.: 978-85-98576-27-5

HOOD, R.S.S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. 2006. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa De Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2006. Disponível em: http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/3270/Rafaela%20Gava%20Padovan.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 de fev. 2020.

JOCHEM, L. F. **Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de rcd: características físicas e propriedades da microestrutura**. 2012. 221 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/99239. Acesso em: 10 de fev. 2020.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2000. Disponível em: https://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV_Vanderley_John_-_Reciclagem_Residuos_Construcao_Civil.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2020.

RIBEIRO JUNIOR, E. **Propriedades dos materiais constituintes do concreto**. Revista on-line Especialize, Dez de 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/35633701/Propriedades_dos_materiais_constituintes_do_concreto. Acesso em: 10 de fev. 2020.

JUAN, M. S.; Gutiérrez, P. A. (2009) **Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate**. Construction and Building Materials, vol. 23, n. 2, p. 872-877.

KATZ, A.; BAUM H**.; Effect of High Levels of fines content on concrete properties. Aci Materials Journal**, v. 6, p.474- 482, 2006. Disponível em: https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1990776. Acesso em: 10 de fev. 2020.

LA SERNA, H. A.; REZENDE, M. M. **Agregados Para a Construção Civil. Departamento Nacional de Produção Mineral.** 2009. Disponível em: <http://anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/07/DNPM2009.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

LACERDA, A. M. L. **Estudo Comparativo do Desempenho de Argamassas de Revestimento a Partir da Variação do Cimento**.2016. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2016.1/estudo-comparativo-do-desempenho-de-argamassas-de-revestimento-a-partir-da-variacao-do-cimento.pdf. Acesso em: 26 set. 2019.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/21839. Acesso em: 10 de fev. 2020.

LEVY, S. M. **Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos, Produzidos com Resíduos de Concreto e Alvenaria**. São Paulo. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em: https://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Tese_Salomon_Mony_Levy.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2020.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 246 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999. Disponível em: https://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Dissert_Jose_Antonio_Ribeiro_de_Lima.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2020.

LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em

Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10609/000598258.pdf?sequence=1. Acesso em: 10 de fev. 2020.

MALTA, J. O. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador/BA, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/14060. Acesso em: 10 de fev. 2020.

MARIANO, L.S. **Gerenciamento de resíduos da construção civil com reaproveitamento estrutural**: estudo de caso de uma obra com 4.000m². 2008. 144 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008

MARTÍN-MORALES, M., ZAMORANO, M., RUIZ-MOYANO, A. and Valverde-Espinosa, I. (2011) **Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08**. Constr Build Mater, vol. 25, 742–748. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.012. Acesso em: 10 de fev. 2020.

MEDEIROS, M.; PEREIRA, E.; FIGURA A.; TISSOT, F. & ARTIOLI, K. **(2015). Avaliação da eficiência de sistemas de proteção de superfície para concreto**: absorção de água, migração de cloretos e ângulo de contato**.** Matéria (Rio de Janeiro). 20. 145-159. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/276891014_Avaliacao_da_eficiencia_de_sistemas_de_protecao_de_superficie_para_concreto_absorcao_de_agua_migracao_de_cloretos_e_angulo_de_contato. Acesso em: 10 de fev. 2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**. Microestrutura, propriedades e materiais. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.

MIRANDA, L. M. C. C. **Estudo comparativo entre argamassa de revestimento à base de cimento com adição da cal hidráulica e da cal hidratada.** 88 f. Artigo (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2009.

MOLDOVAN, P. (2010). **Phenomena and processes at melting of alloys**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277330897_Phenomena_and_processes_at_melting_of_alloys. Acesso em: 10 de fev. 2020.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2001. Disponível em: https://docplayer.com.br/9850554-Estudo-comparativo-entre-argamassa-de-revestimento-a-base-de-cimento-com-adicao-da-cal-hidraulica-e-da-cal-hidratada.html. Acesso em: 10 de fev. 2020.

BUEST NETO, G. T. **Substituição de agregados miúdos naturais por britados em concretos**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, da Universidade Federal do Paraná, (2006). Disponível em:

https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/5776/guilherme.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 de fev. 2020.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto.** 2. ed. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

OLIVEIRA, Hélio M. **Cimento Portland**. In: Materiais de construção. Ed. L. A. Falcão Bauer. 5.ed. rev. Rio de Janeiro, LTC, 2012.

OZALP, F.; YILMAZ, H. D.; KARA, M.; KAYA, O.; SAHIN, A. **Effects of recycled aggregates from construction and demolition wates on mechanical and permeability properties of paving stone, kerb and concrete pipes**. Construction and Building Materials. 2016, Vol. 110, pp. 17-23. Disponível em: https://www.tib.eu/en/search/id/tema%3ATEMA20170330850/Effects-of-recycled-aggregates-from-construction/. Acesso em: 10 de fev. 2020.

PADOVAN, R. G. **Influência da pré-molhagem nas propriedades de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto**. 2013. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013. Disponível em: http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/3270/Rafaela+Gava+Padovan.pdf?sequence=1. Acesso em: 10 de fev. 2020.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem.** Revista Concreto e Construções, Mar. de 2009. Disponível em: http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf. Acesso em: 15 set. 2019.

PIMENTEL, R. L.; FERREIRA, E. T.; MELO, A. B.; GUEDES, T. O. **Avaliação da Capacidade de carga de lajes pré-moldadas utilizando testes modais**. Anais do IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas CINPAR 2013. João Pessoa, 2013.

PONTES. J.C.; LIMA, V. L. A.; SILVA, V. P. **Impactos ambientais de desmonte de rochas em pedreiras de granito de Caicó-RN.** In: XI Congresso Nacional de Meio Ambiente, 2014, Poços de Caldas. XI Congresso Nacional de Meio Ambiente. Poços de Caldas: Congresso Nacional de Meio Ambiente, 2014b. v. 1. Disponível em: http://www.confea.org.br/sites/default/files/uploads-imce/contecc2016/geologia/impactos%20ambientais%20decorrentes%20do%20uso%20de%20subst%C3%A2ncias%20explosivas%20em%20pedreira%20de%20granito%20de%20caic%C3%B3-rn.pdf. Acesso em: 11 de fev. 2020.

PORTO, M. E. H. C.; SILVA, S. V. **Reaproveitamento dos Entulhos de Concreto na Construção de Casas Populares**. Enegep, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STP_079_551_11839.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2020.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** 2 ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

PURIFICAÇÃO, E. B. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto**. 2009. 104 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-84XLBK/1/disserta__o_eduardo_brunopdf.pdf. Acesso em 20 de fev. 2020.

RAKSHVIR, M.; BARAI, S. V. **Studies on recycle aggregates-based concrete. Waste management & Research**. Vol. 24, p. 225-233, 2006.

RANGEL, C. S. **Influência de agregados graúdos reciclados nas propriedades de concretos de resistência normal e de alto desempenho**. Rui de janeiro, 2015. 236 p. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: http://www.coc.ufrj.br/pt/dissertacoes-de-mestrado/388-msc-pt-2015/4552-caroline-santana-rangel. Acesso em: 10 de fev. 2020.

REIS, C. N. S**. Influência da utilização do agregado miúdo de RCD na aderência aço-concreto reciclado**. 2009, 171 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana, 2009. Disponível em: http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=154358. Acesso em: 10 de fev. 2020.

RIBEIRO, C. C.; PINTO J. D. S.; STARLING, Tadeu. **Materiais de construção civil.** 2 ed. Belo Horizonte: UFMG (2002) 102pg.

SANTOS, A dos. **Extração Mineral de areias e seus impactos na territorialidade socioambiental: o caso de feira de Santana-BA**. VII Seminário Internacional Dinâmica Territorial e Desenvolvimento Socioambiental: “Terra em Transe”, 2015. Disponível em: http://noosfero.ucsal.br/articles/0009/2488/EXTRA__O_MINERAL_DE_AREIAS_E_SEUS_IMPACTOS_NA_TERRITORIALIDADE_SOCIOAMBIENTAL.pdf>. Acesso em: 08 de fev. 2020.

SANTOS, A. A. M. **CONCRETO COM AGREGADO GRAÚDO RECICLADO DE CONCRETO: DOSAGEM E PRODUÇÃO.** 2016. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Eng Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2016. Disponível em: http://www.ppgecea.uefs.br/arquivos/File/dissertacoes/2016/Ana_Amelia_Mota_dos_Santos.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2020.

SENTENA, J. A. **Absorção de água por capilaridade em concretos com agregados reciclados de concreto**. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PUCRS, XI, 2010. Porto Alegre: UNISINOS, 2010, 2517-2519. Disponível em: http://www.pucrs.br/edipucrs/XISalaoIC/Engenharias/Engenharia_Civil/83980-JEFERSONALCANTARAALVESSENTENA.pdf. Acesso em: 26 dez. 2019

SILVA, J. P. M. **Agregados e Sustentabilidade**. UFRJ. Rio de Janeiro.2012. Disponível em:

http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2055/1/Cap%2013%20Agregados%20e%20Sustentabilidade.pdf. Acesso em: 18 de set. 2019.

SILVA, K. A. N. **Estudo de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos Com Diferentes Agregados Reciclados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011. Disponível em: http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/404. Acesso em: 10 de fev. 2020.

SIMIELI, D.; MIZUMOTO, C.; SEGANTINI A.A.S.; SALLES, F.M**., Utilização de agregados reciclados em pavimentos intertravados**. Exata, São Paulo, v.5 n.2, p.231-241, jul./dez.2007.

SINDICATO DA INSDUSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO CEARAS (SINDUSCON). **Manual Sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil 2011**. SINDUSCON, 2011. 44 p. Disponível em: http://www.ibere.org.br/anexos/325/2664/manual-de-gestao-de-residuos-solidos---ce-pdf. Acesso em: 10 de fev. 2020

TENÓRIO, J. J. L. – **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos d0e construção e demolição visando aplicações estruturais** – Dissertação, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007. Disponível em: https://ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Jonathas%20Juda%20Lima%20Tenorio.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2020.

TOZZI, R.F. **Estudo da influência do gerenciamento na geração dos resíduos da construção civil (RCC) – Estudo de caso de duas obras em Curitiba/PR. 2006**. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/8815. Acesso em: 10 de fev. 2020.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. **Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento**: Revisão. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.2, p.135-152, 1997. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/7331/2cc9559b924e6b20ff42256abf2cc78f5460.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2020.

USGS. **Cement statistic and information, 2018**. Disponível em <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cement/mcs-2018- cemen.pdf > acesso em: 16 de nov. 2019.

VERÇOSA, E.J. Materiais Cerâmicos. In: BAUER, L.A.F. (Org.); **Materiais de Construção –** Volume 1. Revisão Técnica de João Fernando Dias. 5. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 447 p.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C.; LIMA, F. B. **Resistência e Durabilidade de Concretos Produzidos Com Agregados Reciclados Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição.** Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho, v. 19, p. 5-18, 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000101&pid=S1678-86212012000300009000013&lng=pt. Acesso em: 10 de fev. 2020.

WERLE, A. P.; TROIAN, A.; ALCÂNTARA, J.; KULAKOWSKI, M. P. KAZMIERCZAK, C. S. **Análise de metodologias utilizadas para a determinação da absorção de água de agregados reciclados**. In: ENTAC 2010 (no prelo). Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212011000200015. Acesso em: 10 de fev. 2020.