

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ARIANY FERREIRA CARNAÚBA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CONCRETOS CONFECCIONADOS COM
SEIXO ROLADO E RESÍDUO DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO COMO
AGREGADOS GRAÚDOS.**

Delmiro Gouveia, AL

2023

ARIANY FERREIRA CARNAÚBA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CONCRETOS CONFECCIONADOS COM
SEIXO ROLADO E RESÍDUO DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO COMO
AGREGADOS GRAÚDOS.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado/Licenciatura em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Alexandre Nascimento de Lima.

Delmiro Gouveia, AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

C288e Carnaúba, Ariany Ferreira

Estudo comparativo entre concretos confeccionados com seixo rolado e resíduo de corpos de prova de concreto como agregados graúdos
Ariany Ferreira Carnaúba. - 2023.

53 f. : il.

Orientação: Alexandre Nascimento de Lima.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2023.

1. Construção civil. 2. Agregado graúdo. 3. Concreto. 4. Resíduos sólidos urbanos. 5. Reutilização. I. Lima, Alexandre Nascimento de. II. Título.

CDU: 624.012.45

FOLHA DE APROVAÇÃO

ARIANY FERREIRA CARNAÚBA

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CONCRETOS CONFECCIONADOS COM SEIXO ROLADO E RESÍDUO DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO COMO AGREGADOS GRAÚDOS.

Monografia submetida à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 12 de setembro de 2023.

Alexandre Nascimento de Lima

Msc. Alexandre Nascimento de Lima, UFAL – (Orientador)

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br KATARINA BEATRIZ DOS SANTOS SOUZA
Data: 15/09/2023 08:53:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng^a, Katarina Beatriz dos Santos Souza, UFAL – Examinadora Externa

Wendell José Soares dos Santos

Msc. Wendell José Soares dos Santos, UFAL – Examinador Interno

À Deus, à minha família e aos meus amigos que foram de grande importância para a realização do sonho da minha graduação.

AGRADECIMENTOS

Sou grata, primeiramente, a Deus por ter me capacitado e ter me ajudado chegar até aqui diante de todos os desafios enfrentados, além de ter me presenteado com pessoas que dividiram o peso do fardo de uma graduação e tornaram essa caminhada mais leve. Certeza que Ele escolheu a dedo, porque foram essenciais durante todo esse tempo!

À minha família que nunca mediu esforços para que eu concluísse o curso, em especial à mainha e ao painho: Sou grata por todo sacrifício, cuidado e amor depositados durante esses longos anos! Aos meus irmãos: Anderson, Camyla e Amanda que sempre me ouviram, aconselharam e me ajudaram a compreender as dificuldades de uma universidade pública: Vocês foram meu exemplo por muitas vezes e continuarão sendo!

Às minhas meninas: Andreza, Gabrielle, Katarina, Lara, Maria Beatriz, Maria Clara, Maria Katarina, Maria Paula e Tereza Cristina que compartilharam, além da universidade, a vida! Sem elas a caminhada não teria sido tão leve como foi e as noites em claro não teriam sido tão proveitosas. Agradeço pelos conselhos, ensinamentos e palavras motivadoras quando tudo parecia estar sendo um desastre. Ao Vitor Abreu e a Vitória Luiza que, também se tornaram importantes na produção desse trabalho, por me acompanhar e incentivar.

À todo corpo docente que me acompanhou e compartilhou conhecimento e experiências da vida profissional, em especial ao meu orientador professor Dr. Alexandre Nascimento de Lima que me auxiliou desde a escolha do tema até a produção deste trabalho. Agradeço também a Raiana Porfírio e ao técnico de laboratório de materiais Arnon Berg, pela ajuda e disponibilidade durante o uso do laboratório.

Em geral, agradeço a todas as pessoas que somaram na minha vida durante minha passagem pela Universidade Federal de Alagoas – *Campus* do Sertão, Sede Delmiro Gouveia, inclusive às amigadas e aos vínculos que criei na cidade.

“Só se pode vencer a natureza obedecendo-lhe.” (Francis Bacon).

RESUMO

O avanço da construção civil, por vezes, parece atropelar as limitações da natureza e torna-se conveniente procurar meios que diminuam os impactos causados ao meio ambiente. Sendo assim, o presente estudo visa estabelecer uma comparação entre o concreto produzido com seixo rolado (pedra natural extraída do fundo de rios e que ocasiona degradação do meio ambiente) com o concreto produzido com agregado graúdo reciclado (proveniente de corpos de prova deteriorados ou resíduos da construção civil). Tal comparação é dada através da realização de ensaios dispostos em normas. O estudo reitera a possibilidade de reutilização ou reciclagem de materiais descartados e que, esporadicamente, desempenham suas funções melhor ou igual a materiais que ocasionarão novos desgastes ambientais. A reutilização, mesmo que adicione alguns processos durante a produção do material final, ainda assim oferece bons resultados.

Palavras-chave: Construção civil; reutilização; resíduos de construção civil; agregado graúdo reciclado; seixo rolado.

ABSTRACT

The progress of civil construction, sometimes, seems to trample the limitations of nature and it becomes convenient to look for ways to reduce the impacts caused to the environment. Therefore, the present study aims to establish a comparison between concrete made with rolled pebbles (natural stone extracted from the bottom of rivers and which causes degradation of the environment) with concrete made with recycled coarse aggregate (from deteriorated specimens or construction waste). Such a comparison is given by carrying out tests arranged in standards. The study reiterates the possibility of reusing or recycling discarded materials that, sporadically, perform their functions better or equal to materials that will cause new environmental wear. Reuse, even if you add some processes during the production of the final material, still gives good results.

Keywords: Construction; reuse; construction waste; recycled coarse aggregate; rolled pebble.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 | Justificativa..... | 13 |
| 1.2 | Objetivos gerais..... | 14 |
| 1.3 | Objetivos específicos..... | 14 |
| 1.4 | Organização do trabalho | 14 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1 | Resíduos sólidos urbanos – RSU | 15 |
| 2.2 | Resíduos de construção e demolição – RCD..... | 16 |
| 2.3 | Resíduos de concreto | 17 |
| 2.4 | Uso de agregado reciclado na construção civil | 18 |
| 2.5 | Uso do seixo rolado em concreto..... | 19 |
| 2.6 | Impactos causados com a extração de minerais | 20 |
| 2.6.1 | Impactos ambientais e a extração do seixo rolado..... | 21 |
| 2.7 | Britadores | 21 |
| 2.8 | Equipamento de abrasão Los Angeles..... | 23 |
| 3 | METODOLOGIA | 25 |
| 3.1 | Materiais utilizados | 25 |
| 3.1.1 | Cimento Portland (CP-II-F-32)..... | 25 |
| 3.1.2 | Agregado miúdo e graúdo naturais | 25 |
| 3.1.3 | Seixo rolado | 26 |
| 3.1.4 | Agregado graúdo reciclado..... | 27 |
| 3.1.4.1 | Trituração (cominuição)..... | 27 |
| 3.2 | Ensaio realizados com os agregados..... | 29 |
| 3.2.1 | Ensaio de granulometria..... | 29 |
| 3.2.2 | Ensaio de massa específica e absorção | 30 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.2.3 | Ensaio de massa unitária | 32 |
| 3.3 | Ensaaios realizados com os concretos..... | 34 |
| 3.3.1 | <i>Slump Test</i> - Abatimento do tronco de cone | 35 |
| 3.3.2 | Moldagem e cura dos corpos de prova | 36 |
| 3.3.3 | Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. . | 37 |
| 3.3.4 | Resistência à compressão e tração | 38 |
| 3.3.4.1 | Cálculo de resistência à compressão | 40 |
| 3.3.4.2 | Cálculo de resistência à tração por compressão diametral | 41 |
| 4. | RESULTADOS | 42 |
| 4.1 | Composição granulométrica | 42 |
| 4.1.1 | Seixo rolado | 42 |
| 4.1.2 | Agregado graúdo reciclado..... | 43 |
| 4.2 | Massa específica | 43 |
| 4.3 | Massa unitária | 44 |
| 4.4 | Slump Test – Abatimento do tronco de cone..... | 44 |
| 4.5 | Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica | 44 |
| 4.6 | Cálculo de resistência à compressão e resistência a tração por compressão diametral. | 46 |
| 5. | CONCLUSÃO | 48 |
| | REFERÊNCIAS..... | 49 |

1 INTRODUÇÃO

A natureza já suportou muitas agressões e conseguiu absorver altas quantidades de resíduos, assim como tinha potencial de oferecer recursos que pareciam infinitos. Todavia, com o crescente uso de tais riquezas e sem o devido controle e respeito, deu início a desequilíbrios que, atualmente, tornam seu uso limitado e que requer um regimento ambiental controlador (CASTRO, 2012).

Neville (2016) afirma que o concreto é considerado o material industrial mais consumido pelos homens. Direciona, ainda, sua praticidade de produção e aplicação como sendo os principais causadores de sua alta utilização, visto que é possível realizar da fundação à cobertura de construções. Sendo assim, é notável o motivo da necessidade de grande quantidade de matéria prima e, conseqüentemente, uma maior geração de resíduos na construção civil como citado por Barros (2017).

Segundo a Resolução nº 307 do CONAMA (2002), a construção civil é considerada a maior geradora de resíduos sólidos no mundo – os conhecidos resíduos da construção civil (RCC). Mesmo sendo responsável pela geração de grandes impactos ambientais, conforme Castro (2012), a construção civil é um dos mais importantes setores para desenvolvimento social e econômico.

Por ser um dos setores de grande importância e possuir avanços significantes, a construção civil enfrenta problemas quanto a disponibilidade do agregado graúdo comumente utilizado na produção do concreto: a brita. Como alternativa, vê-se a utilização do seixo rolado, definido como sendo sedimentos de rochas que, naturalmente, foram lavados e esculpidos através do transporte de corpos hídricos, possuindo superfície lisa – atrapalhando uma melhor junção dos materiais no concreto, diminuindo a resistência e favorecendo a aparição futura de patologias (FURLANETTO e CARLOS, 2020).

Em dados apresentados no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, em 2020, da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), foi registrado um aumento quantitativo no período em análise: os resíduos de construção e demolição passaram de 33 milhões de toneladas em 2010, para 44,5 milhões de toneladas em 2019; gerando um aumento de cerca de 40 kg por habitante, por ano.

Visando a diminuição de produção de resíduos ou até mesmo sua reutilização e reciclagem, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2020) apresenta algumas diretrizes e estratégias para os RCC. Dentre elas, a diretriz 4, que salienta a implantação de atividades de reciclagem e reutilização nos empreendimentos públicos e privados em todo o território nacional, através do estímulo à pesquisa e ao desenvolvimento tecnológico, com objetivo de auxiliar essas atividades.

Baseando-se na reutilização dos resíduos gerados na construção civil, o presente trabalho pretende estudar o uso de agregados graúdos oriundos de corpos de prova de concreto, assim como compará-los com o concreto composto por seixo rolado, pedra encontrada em abundância no fundo dos leitos de rios.

1.1 Justificativa

De acordo com Carneiro (2002), mesmo possuindo um formato arredondado e uma superfície lisa, ocasionando insuficiência em questões de aderência com o concreto – limitando seu potencial, o seixo ainda é bastante utilizado na produção de concreto nas regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Trigo e Libório (2011) afirmam que o formato e a textura do seixo são características que expõem a funcionalidade exigida do concreto já que o material usado como agregado possui propriedades de baixa aderência entre os materiais.

Buttler (2003) afirma que, em qualquer tipo de fabricação, é inevitável a geração de resíduos. Ainda declara que os resíduos de concreto possuem alta possibilidade de utilização já que suas propriedades básicas são conhecidas. Além disso, o autor cita que tais resíduos não detêm nem destinação correta nem tratamento, acarretando uma degradação do meio natural.

Ainda segundo Buttler (2003), a substituição por agregados reciclados afetará a diminuição de resíduos, além de reduzir custos envolvidos com extração e transporte, caso fosse utilizado o material natural.

1.2 Objetivo geral

O trabalho tem como finalidade comparar o comportamento do concreto composto por seixo rolado e concreto composto por agregado graúdo reciclado de concretos endurecido.

1.3 Objetivos específicos

- Comparar as resistências mecânicas de concretos com seixo e agregado reciclado de corpos de prova de concreto como agregado graúdo;
- Identificar o potencial do uso do agregado reciclado de corpos de prova de concreto como agregado graúdo.

1.4 Organização do trabalho

O trabalho é composto por cinco capítulos. O primeiro capítulo é composto pela introdução e pelos objetivos gerais e específicos. O segundo capítulo faz a abordagem bibliográfica e dispõe de temas que apresentam dados dos resíduos gerados tanto no contexto geral como na área da construção, evidenciando a extração do agregado reciclado através da utilização do equipamento de abrasão Los Angeles. No capítulo 3, é possível obter a metodologia de todos os processos realizados durante o estudo. No capítulo 4, têm-se os resultados obtidos nos ensaios. A conclusão, por fim, é exposta no capítulo 5.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são expostos temas relacionados desde o surgimento e produção de resíduos sólidos gerados pela construção civil até a possível reutilização ou reciclagem de tais materiais. Neste capítulo, expõe a atual situação de tratamento dos resíduos sólidos em geral no Brasil, assim como exibe definições e classificação dos resíduos da construção civil. Retrata estudos que provam a possibilidade de reutilização ou reciclagem dos rejeitos em novas obras/funções.

2.1 Resíduos sólidos urbanos – RSU

Segundo Szigethy e Antenor (2021), o Brasil é um dos maiores produtores de resíduos sólidos e não possui uma boa gestão de tais materiais descartados. O alto custo para armazenamento e tecnologia para tratamento dos RSU tem como consequência altos volumes acumulados, problemas de saúde pública e ambientais sérios, visto que o descarte incorreto pode ocasionar contaminação de solo além da proliferação de doenças como dengue, leishmaniose, esquistossomose, entre outras, onde seus transmissores veem nos lixões uma oportunidade de alimentação e, conseqüentemente, procriação.

Ainda de acordo com Szigethy e Antenor (2021), no Brasil ainda não há interesse político na expansão de tratamento e tecnologia voltada para os resíduos sólidos urbanos. Além disso, eles apresentam, como um dos motivos para a dificuldade da gestão desses resíduos, o alto custo na implantação da construção de aterros sanitários na maior parte dos municípios brasileiros, assim como a conscientização da diminuição de produção de resíduos e aumento da reciclagem dos materiais em questão.

Segundo aponta a PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos (2020), um dos principais erros cometidos se concentra na falta de separação dos resíduos. Nota-se que a maioria dos rejeitos são descartados de maneira misturada, inviabilizando procedimentos exclusivos para aproveitamento, visto que não há divisão ou classificação desses. O direcionamento aconselhado por tal política é a capacitação dos setores regionais, para que aumentem seus estudos e informações

a fim de realizar melhorias no quesito separação e reaproveitamento/reutilização/reciclagem dos resíduos sólidos urbanos.

2.2 Resíduos de construção e demolição – RCD

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), afim de criar medidas controladoras e organizadoras para o descarte de tais resíduos, determinou, na Resolução n° 307/2002, diretrizes, critérios e procedimentos que ofertariam ações minimizadoras dos impactos ambientais. A resolução tem por objetivo o direcionamento de funções e responsabilidades de cada órgão/área/funcionário participante da geração desses entulhos ou metralhas (CONAMA, 2002). Dentre as medidas colocadas pela Resolução n° 307/2002 do Conama, a elaboração e implementação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) apresenta-se como obrigação dos grandes e pequenos geradores de resíduos, plano que é definido como sendo um documento que aponta as ações de manejo adequado dos resíduos sólidos (SEBRAE, 2014).

Visando uma melhoria no descarte ou reutilização dos materiais, a Resolução n° 307 do CONAMA (2002) classifica os resíduos da construção civil, os quais se diferenciam por sua capacidade de reutilização/reciclagem, como:

- a) Classe A: resíduos que podem ser reutilizados/reciclados como agregados. Nessa classe apresentam-se os despejos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações ou pavimentações como tijolos, azulejos, telhas, solos de terraplanagem, argamassa e concreto, tubos, blocos.
- b) Classe B: resíduos que servirão para outros destinos como plásticos, vidros, madeiras, metais.
- c) Classe C: resíduos que ainda não possuem tecnologias economicamente viáveis para sua reciclagem como os produtos originados do gesso.
- d) Classe D: resíduos químicos perigosos como tintas, óleos, solventes, assim como os dejetos contaminados após reforma ou demolição de clínicas radiológicas ou instalações industriais, por exemplo.

Sendo assim, de acordo com a classificação descrita acima, os resíduos pertencentes às classes A e B são possivelmente recicláveis ou reutilizáveis. Os resíduos de classe A podem ser utilizados na construção civil como, por exemplo, na

execução de bases e sub-bases da pavimentação e na fabricação de blocos de vedação. Os resíduos que compõem a classe B podem ser reutilizados ou reciclados por indústrias que não pertencem ao ramo da construção civil (BLUMENSCHNEIN, 2007 *apud* ARAÚJO et al, 2016).

Segundo Ângulo (2005), os agregados provenientes dos Resíduos de Construção e Demolição – RCD – seriam considerados como mais uma fonte de matéria-prima para os setores de produção dos agregados naturais, tornando opcional a inserção do processo de reciclagem nesse mesmo setor.

2.3 Resíduos de concreto

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2006), o concreto de cimento Portland é um material originado a partir da mistura homogênea de cimento, agregados graúdos e miúdos e água, podendo ter a inserção de aditivos químicos e adições minerais. Suas propriedades se desenvolvem pelo endurecimento da pasta de cimento.

Conforme Wedler (1946) *apud* Levy (2001), com a finalidade de substituir os agregados e atender a necessidade daquele momento, a primeira utilização de resíduos reciclados na construção civil foi registrada após o final da Segunda Guerra Mundial, quando as cidades européias tiveram suas edificações totalmente destruídas e todo o entulho foi britado.

“Através da marca reCO2ver, a empresa Sika desenvolveu um processo altamente eficiente para separar e reutilizar componentes de concreto demolido e aumentar a qualidade dos agregados reciclados. Trata-se da sinergia de um tratamento químico-mecânico dos resíduos da demolição de concreto”. (SOUZA, 2022)

Ainda de acordo com Souza (2022), os rejeitos originados pela demolição de construções podem sofrer uma separação em “agregados secundários” e possuir qualidade análoga às matérias-primas tradicionais. Segundo o mesmo autor, com o auxílio de um processo que utiliza das reações promovidas pelo dióxido de carbono (CO₂), o concreto endurecido, fruto da demolição, é desfeito e separado entre brita, areia e calcário. Experimentos comparativos apresentaram resultados semelhantes entre um novo concreto e o concreto produzido com os agregados reciclados.

2.4 Uso de agregado reciclado na construção civil

Conforme a Resolução nº 307 do CONAMA (2002), pode-se definir agregado reciclado como todo material granular oriundo de resíduos de qualquer construção e que possuem características técnicas que possibilitem o uso em futuras obras de infraestrutura, aterros sanitários, obras de edificação ou outras obras de engenharia; enquanto que designa reciclagem como o processo que tem a finalidade de reaproveitar algum resíduo após sofrer transformação (física ou química).

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2022), os agregados devem ser formados por grãos de minerais estáveis, compactos, limpos, duráveis e duros, não podem ter compostos que afetem a rigidez e hidratação do cimento, a durabilidade ou características físicas do concreto, nem que cheguem a lesionar a proteção da armadura contra possível corrosão. A norma ainda define o agregado graúdo como sendo “agregados 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, em ensaios realizados de acordo com a ABNT NBR 17054, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.”

Kulaif (2001) *apud* Frotté *et al.* (2017) define o menor custo de capital, de energia e de transporte como sendo os principais motivos para que os agregados reciclados contribuam com a preservação do meio ambiente; além disso, por ser um material que possui maior uso no setor da construção civil, os agregados tornam-se importantes elementos a serem produzidos através da reciclagem dos resíduos de construção e demolição.

Araújo *et al.* (2016) relataram trabalhos que foram criados com a finalidade de estudar a influência ao usar agregados reciclados nas propriedades mecânicas do concreto. Dentre tantos estudos e suas conclusões após ensaios, apresentou-se uma possibilidade de substituir de 50% a 100% os agregados naturais pelos agregados reciclados sem causar danos nas propriedades mecânicas, tendo como um dos fatores mais importantes a origem desse material futuramente reciclado (devendo ser de boa qualidade e provenientes de resíduos cinzas).

De acordo com Zordan (1997), cujos resultados não foram os esperados, foi suposto um maior controle dos entulhos que chegam até as fábricas de reciclagem para que sejam selecionados os materiais com maior qualidade e que não afetem as

propriedades relevantes do concreto. Athayde (2018) considera que seja uma proposta inovadora a utilização dos agregados reciclados em concreto estrutural, no entanto, seu uso exige cuidados e estudos prévios para que, assim, seja avaliada a viabilidade de aplicação.

Silva *et al.* (2020) apresentam o uso de RCD na fabricação de geopolímeros como um dos métodos mais econômicos e capazes de provocar a redução de emissão do CO₂, já que seria diminuída a produção de cimento Portland e dos agregados, além de fornecer uma solução apropriada para o descarte desses resíduos. Ainda ressaltam que, ao adicionar materiais cimentícios suplementares, os geopolímeros podem possuir propriedades melhores do que as propriedades do concreto convencional.

Partindo do âmbito geral e observando o uso de agregados reciclados na construção civil, Ramos (2021) realizou um estudo acerca do uso de agregado miúdo reciclado de corpos de prova de concreto que substituiu o agregado miúdo convencional por completo e obteve sucesso em testes que comprovaram o uso eficaz de tal material reciclável em concretos com fins estruturais.

2.5 Uso do seixo rolado em concreto

O seixo rolado é uma pedra natural encontrada no fundo de rios, possui superfície lisa e arredondada, podendo ser rolada de forma artificial (Steuer *et al.*, 2013). Segundo Almeida (2019), são caracterizados como fragmentos de rocha ou minerais, possuem granulometria maior do que a granulometria da areia e, por serem transportados pelas águas, são arredondados. Podem apresentar diâmetros variáveis entre 0,5 a vários centímetros, porém, os fragmentos com diâmetro maior que 25 centímetros são denominados de matacão pela geologia.

Quaresma (2009) afirma que qualquer rocha pode ser usada na construção civil, desde que seja britada, podendo atuar em lastros de ferrovias, pavimento asfáltico (como base e sub-base) e em concreto. Caso possuam características desfavoráveis para fins estruturais, ainda assim se tornam presentes em contenção de encostas e erosão, manutenção de caminhos de terra e aterros.

Segundo Cabral *et al.* (2008), a distância das pedreiras ao maior centro consumidor de agregados graúdos, na Região Norte, é um dos principais fatores para o emprego do seixo rolado, extraído do fundo dos rios, em concreto. Ademais, o autor

cita que, as principais capitais amazônicas (Belém, Manaus e Rio Branco) não são cobertas por rochas. Logo, o uso de agregados naturais, como a pedra britada e o seixo rolado, é comum na construção civil.

Conforme Trigo e Libório (2011), a técnica de dopagem possibilita melhora na liga entre a matriz de cimento e o seixo rolado e, por consequência, acarreta um bom desempenho do concreto. Tal técnica consiste no encharcamento do agregado graúdo em uma reação química com materiais que reajam com aglomerantes, capaz de modificar a textura do seixo ou criar uma ligação entre o agregado e o aglomerante.

Conforme Frota *et al.* (2003), em Manaus, onde é costume usar o seixo rolado como agregado graúdo, foi realizada a substituição desse por agregado reciclado. Antes da aplicação, foram feitas três misturas: uma com seixo e outras duas com resíduos de construção, na proporção de 50% e 60%, respectivamente, juntamente com areia e cimento Portland, em todos os conjuntos. Após os testes, concluiu-se que as misturas com agregado reciclado são viáveis, mesmo que precisem de uma maior porção do ligante.

2.6 Impactos causados com a extração de minerais

Conforme Annibelli e Souza Filho (2007), a mineração causa impactos tanto no contexto ambiental como no social e econômico, porém, por ser uma atividade que possui rigidez locacional, o minerador é obrigado a lavar rigorosamente no local onde a natureza oferece tal substância ou minério.

Faleiro e Lopes (2010) afirmam que a mineração gera impactos sociais e ambientais, como qualquer outra atividade. Quanto aos impactos sociais, a mineração deve cumprir os parâmetros legais, garantindo uma exploração sustentável dos recursos naturais e preservando a saúde dos colaboradores, além do desenvolvimento local e gerando melhorias para a cidade e/ou comunidade. Já quanto aos impactos ambientais, provocam o desmonte de rocha, armazenamento de minérios e de rejeitos, como também a mudança de relevo por meio da retirada da cobertura vegetal. Os autores ainda citam como é extremamente importante a observação das poluições de água e ar, já que afetam diretamente a população local. A poluição do ar é ocasionada no momento da lavra, quando são realizados os desmontes, o transporte de materiais e beneficiamento.

2.6.1 Impactos ambientais e a extração do seixo rolado

Pinheiro (2016), comparando a extração do seixo rolado com a extração de minérios metálicos (ouro e ferro, por exemplo), concluiu que a extração do seixo é menos impactante ao meio ambiente.

Amador (1985) apresenta a formação de crateras, voçorocas, erosão e o desequilíbrio ou destruição de cadeias biológicas como os principais impactos causados pela extração da areia e do seixo. Annibelle e Souza Filho (2007) citaram como impactos positivos a geração de empregos e a geração de impostos e, como impactos negativos, os ambientais causados pela destruição da mata ciliar, a poluição da água e do solo e a expulsão das espécies de animais nativos.

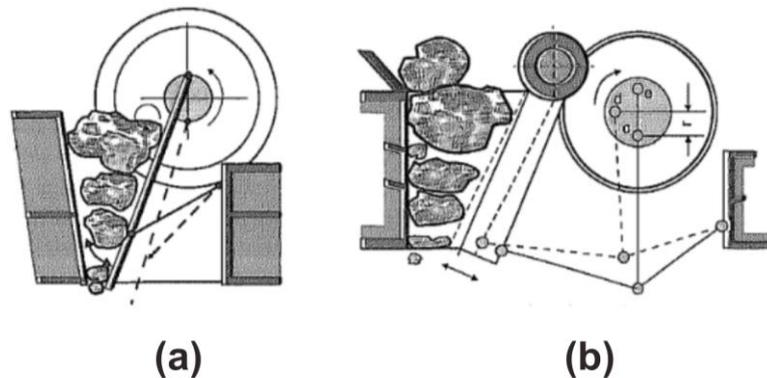
As atividades de mineração acarretam uma diminuição das jazidas disponíveis para atender demandas de uso imediato na construção civil. Além disso, a extração, desenvolvida a céu aberto como é o caso da extração de areia e seixos, provoca problemas ambientais e vários conflitos com maneiras diferentes de uso e ocupação do solo (VIANA, 2013).

2.7 Britadores

Segundo Varela (2011), a britagem tem por finalidade diminuir o volume da partícula de algum material. Ou seja, um britador tem como função principal a quebra ou fragmentação de partículas de uma determinada matéria. De acordo com o METSO (2005), os britadores são classificados em dois principais grupos: os britadores de compressão e os britadores de impacto. Os britadores de compressão esmagam o material até ocorrer a quebra, enquanto os de impacto realizam impactos rápidos que despedaçam o material.

Como exemplo de britador de compressão, podem ser citados os britadores de mandíbula (Figura 1), que são empregados como britadores primários, possui a função de produzir elementos que consigam ser transportados aos próximos estágios de instalação e podem ser de dois tipos: de um ou de dois eixos.

Figura 1 – Britadores de mandíbula. a) De um eixo; b) de dois eixos.

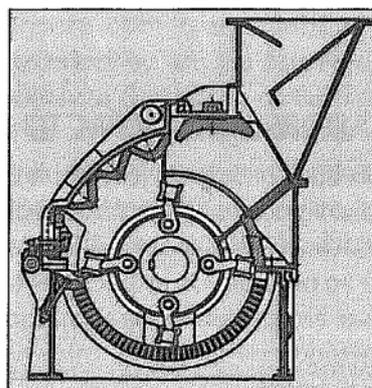


Fonte: METSO (2005).

O britador de mandíbula de um eixo (Figura 1a), exerce a combinação do movimento excêntrico com o movimento oscilatório formando um movimento de “mastigação” no material. Já o britador de mandíbula de dois eixos (Figura 1b), assim como o próprio nome indica, possui dois eixos e duas placas de articulação. Por possuir um movimento de mastigação, o britador de um eixo possui melhor capacidade de entrada de material que o britador de dois eixos. Os britadores de mandíbula são máquinas confiáveis e comuns nas instalações para a produção de brita graúda (METSO, 2005).

Já para os britadores de impacto, um exemplo é o moinho de martelo (Figura 2). É uma máquina composta por um rotor que tem ao seu redor muitos martelos pivotados e as aberturas de saída são formadas por uma grelha que contribui no processo de redução. Os moinhos de martelo são usados para trituração ou pulverização de materiais não muito duros ou abrasivos (METSO, 2005).

Figura 2 - Moinho de martelos.



Fonte: METSO, 2005.

2.8 Equipamento de abrasão Los Angeles

Segundo Freitas (2017), o equipamento de abrasão Los Angeles tem como função principal caracterizar materiais apresentando a resistência abrasiva por meio do atrito entre o material e esferas de aço. Torna-se possível, com o equipamento, mensurar o desgaste dos agregados, já que o percentual de desgaste é dado através do peso do material (resultado do ensaio) peneirado em malhas normatizadas.

De acordo com Contenco (2022), fabricante brasileiro do equipamento, a máquina é composta por um jogo de 12 esferas e tambor fabricado em aço reforçado e possui um sistema que consegue programar o número de giros. O funcionamento do equipamento se dá por um motor elétrico. A Figura 3 apresenta o equipamento de abrasão Los Angeles utilizado no estudo.

Figura 3 - Equipamento de Abrasão Los Angeles.



Fonte: Autora, 2023.

Alguns trabalhos utilizaram tal equipamento para diferentes objetivos: Costa (2021) a fim de obter agregado miúdo originado por meio do resíduo de fibrocimento, usou o equipamento de abrasão como forma de moer o material, obter o agregado miúdo e usar em argamassa de assentamento; e Ramos (2021) utilizou

do equipamento com a finalidade de obter o agregado miúdo a partir de resíduos de concreto endurecido e reutilizá-lo em novos concretos convencionais.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho utilizou a metodologia no formato de análise laboratorial. Os agregados utilizados no presente estudo foram submetidos a ensaios com a finalidade de observar a conformidade com as normas e, por fim, realizados os ensaios com os concretos compostos tanto por seixos como por agregado graúdo reciclado.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Alagoas – *Campus* do Sertão, situada na Cidade Universitária em Delmiro Gouveia-AL.

3.1 Materiais utilizados

Nesta secção, serão apresentados os materiais utilizados durante o experimento, suas normas, definições, propriedades, classificação e características.

3.1.1 Cimento Portland (CP-II-F-32)

De acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018), o cimento Portland possui várias designações (Figura 4) que variam de acordo com sua composição, subtipo e resistência. Por ser facilmente encontrado na região, foi utilizado o cimento Portland CP-II-F-32, na produção dos concretos.

Analisando a figura a seguir, é possível definir o cimento CP-II-F-32 como sendo um cimento Portland composto com material carbonático, que possui uma mínima resistência à compressão de 32 MPa após os 28 dias de idade.

3.1.2 Agregado miúdo naturais

A areia teve, como origem, a cidade de Delmiro Gouveia e foi utilizada em outros trabalhos/pesquisas da UFAL.

Figura 4 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.

| Designação normalizada (tipo) | Subtipo | Sigla | Classe de resistência | Sufixo |
|--|-------------------------------------|---------|---------------------------|---|
| Cimento Portland comum | Sem adição | CP I | 25, 32 ou 40 ^c | RS ^a ou BC ^b – |
| | Com adição | CP I-S | | |
| Cimento Portland composto | Com escória granulada de alto forno | CP II-E | | |
| | Com material carbonático | CP II-F | | |
| | Com material pozolânico | CP II-Z | | |
| Cimento Portland de alto-forno | | CP III | | |
| Cimento Portland pozolânico | | CP IV | | |
| Cimento Portland de alta resistência inicial | | CP V | ARI ^d | |
| Cimento Portland branco | Estrutural | CPB | 25, 32 ou 40 ^c | – |
| | Não estrutural | CPB | – | |

^a O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^b O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^c As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

^d Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018)

3.1.3 Seixo rolado

O seixo rolado utilizado no presente estudo (Figura 5) foi obtido em uma empresa de jardinagem situada em Arapiraca/AL.

Figura 5 – Seixo rolado.



Fonte: Autora, 2023.

3.1.4 Agregado graúdo reciclado

O agregado graúdo reciclado utilizado neste trabalho teve, como origem, corpos de prova de concreto que passaram por ensaios de resistência à compressão e que se encontravam armazenados no Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Alagoas, Campus Delmiro Gouveia, em Alagoas. Inicialmente, foi utilizada uma marreta de aproximadamente 0,5 kg para diminuir os corpos de prova (Figura 6) a dimensões que fossem compatíveis com o equipamento utilizado.

Figura 6 - Corpos de prova despedaçados



Fonte: Autora, 2022.

3.1.4.1 Trituração (cominuição)

Conforme Ramos (2021), o procedimento de aquisição dos agregados graúdos se deu por meio da inserção de amostras de 8 kg, por vez, de corpos de prova deteriorados no equipamento de abrasão Los Angeles. Foram adicionadas 12 esferas de aço no equipamento e, com o auxílio de um cronômetro, os resíduos ficaram por 10 minutos sob o efeito de atrito promovido pelo equipamento (Figura 7).

Figura 7 - Inserção do concreto deteriorado no equipamento de Abrasão Los Angeles.



Fonte: Autora, 2023.

Após 10 minutos, o material foi retirado do equipamento e separado das esferas de aço (Figura 8). Em seguida, com o uso de peneiras, foram separados os agregados que possuíam granulometria entre 4,8 mm e 64 mm, visto que agregados com granulometria menor que 4,8 mm são considerados miúdos e 64 mm sendo a maior granulometria encontrada para o seixo rolado utilizado.

Figura 8 - Material retirado do equipamento após a cominuição



Fonte: Autora, 2023.

3.2 Ensaios realizados com os agregados

Para um melhor estudo e análise, os agregados utilizados na produção do concreto foram submetidos a ensaios dispostos em normas para uma padronização legal.

3.2.1 Ensaio de granulometria

Conforme a metodologia apresentada na NBR 17054 (ABNT, 2022), foram realizados os ensaios de granulometria dos seixos, bem como dos agregados graúdos originados de resíduos de concreto (Figura 9), utilizando peneiras com aberturas variáveis entre 4,8 mm e 64 mm.

Figura 9 – Ensaio de granulometria dos seixos.



Fonte: Autora, 2023.

Os passos seguidos são os retratados na imagem acima, e descritos em norma NBR 17054 (ABNT, 2022). Primeiramente, a amostra foi passada nas peneiras de malhas supracitadas (Figura 8a), separadas de acordo com as retenções de cada malha (Figura 8b) e, em seguida, de acordo com a granulometria, foi medida a massa dos agregados individualmente (Figura 8c). A amostra completa foi separada através das peneiras, como apresentadas na Figura 8d.

Ressalta-se que as peneiras podem ser de série normal e intermediária, segundo a NBR 17054 (ABNT, 2022). Sendo assim, as peneiras se classificam conforme a tabela a seguir.

Tabela 1 – Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal)

| Série Normal | Série Intermediária |
|--------------|---------------------|
| 75 mm | - |
| - | 63 mm |
| - | 50 mm |
| 37,5 mm | - |
| - | 31,5 mm |
| - | 25 mm |
| 9,5 mm | - |
| - | 6,3 mm |
| 4,75 mm | - |
| 2,36 mm | - |
| 1,18 mm | - |
| 600 μ m | - |
| 300 μ m | - |
| 150 μ m | - |

Fonte: Adaptado. ABNT,2022.

Com as massas coletadas, torna-se possível obter a dimensão máxima característica e o módulo de finura. Segundo a NBR 17054 (ABNT, 2022) define-se:

- i. dimensão máxima característica: abertura da peneira, de série normal, em que retém uma porcentagem acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.
- ii. módulo de finura: soma das porcentagens de massa acumulada retida, nas peneiras de série normal, dividida por 100.

3.2.2 Ensaio de massa específica e absorção

Com o intuito de comparar o índice de absorção e massa específica tanto do seixo, como dos agregados reciclados, após o ensaio de granulometria, realizou-se o ensaio de massa específica e absorção descrito pela NBR 16917 (ABNT, 2021). O ensaio foi realizado com os dois materiais alvos da comparação e com a estrutura disponível em laboratório (Figura 10).

Figura 10 – Estrutura para ensaio de absorção e massa específica.



Fonte: Autora, 2022.

A estrutura para pesagem do material e aquisição dos dados é composta por um dispositivo ligado a balança e ao cesto de arame. Tal cesto, submerso em um tanque de água, receberá a amostra de agregados que será ensaiada, o que tornará possível a pesagem do material enquanto submerso. A estrutura é chamada de balança hidrostática.

Para a realização do ensaio, foram coletados dados como a massa dos agregados secos em estufa, massa dos agregados na condição saturada com superfície seca e massa dos agregados quando submerso em água.

Para o cálculo da densidade dos agregados no estado seco, aplica-se a Equação 1:

$$\rho_s = \frac{m_A}{m_B - m_C} \quad (1)$$

onde

ρ_s é a densidade do agregado na condição seca (g/cm^3);

m_A é a massa da amostra na condição seca em estufa (g);

m_B é a massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

m_C é a massa da amostra submersa em água na condição saturada superfície seca.

Já para o cálculo da densidade do agregado na condição saturada superfície seca, é utilizada a seguinte Equação 2:

$$\rho_{SSS} = \frac{m_B}{m_B - m_C} \quad (2)$$

onde

ρ_{SSS} é a densidade do agregado na condição saturada superfície seca (g/cm^3);

m_B é a massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

m_C é a massa da amostra submersa em água na condição saturada superfície seca (g).

Para calcular a absorção de água, utiliza-se a seguinte Equação 3:

$$Abs = \frac{m_B - m_A}{m_A} \times 100 \quad (3)$$

sendo

Abs é a absorção de água (%);

m_A é a massa da amostra seca em estufa (g);

m_B é a massa da amostra na condição saturada superfície seca (g).

3.2.3 Ensaio de massa unitária

O procedimento para realização do ensaio de massa unitária, seguiu o método A disposto na NBR 16972 (ABNT, 2021) para definição da massa unitária e do volume de vazios tanto dos agregados reciclados como dos seixos. A figura a seguir se refere ao ensaio aplicado ao agregado graúdo reciclado, todavia o ensaio foi realizado com os dois materiais.

Figura 11 – Ensaio de massa unitária do agregado graúdo reciclado.



Fonte: Autora, 2023.

O agregado foi depositado no recipiente (Figura 11a) em 3 camadas. Em cada camada, foram efetuados 25 golpes com a haste de adensamento. Após preenchido, o volume foi nivelado manualmente (Figura 11b) e, em seguida, nivelado com auxílio da régua (Figura 11c). Em seguida, foi medida a massa do recipiente juntamente com o conteúdo, como mostra a Figura 12 (pesagem do seixo).

Figura 12 – Pesagem de recipiente com conteúdo.



Fonte: Autora, 2023.

Ainda seguindo a NBR 16972 (ABNT, 2021), para calcular a massa unitária, utiliza-se a seguinte Equação 4:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (4)$$

onde

ρ_{ap} é a massa unitária do agregado (kg/m^3);

m_{ar} é a massa do recipiente com o agregado (kg);

m_r é a massa do recipiente vazio (kg);

V é o volume do recipiente (m^3).

3.3 Ensaio realizados com os concretos

O concreto foi produzido no Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Alagoas, *Campus* do Sertão, na betoneira. Adicionou-se sequencialmente o agregado graúdo (seixo rolado ou agregado reciclado), água, cimento e areia. As figuras 13 e 14 apresentam os materiais separados antes do preparo do concreto.

Figura 13 - Materiais utilizados na produção do concreto com seixo rolado.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 14 - Materiais utilizados na produção do concreto com agregado reciclado.

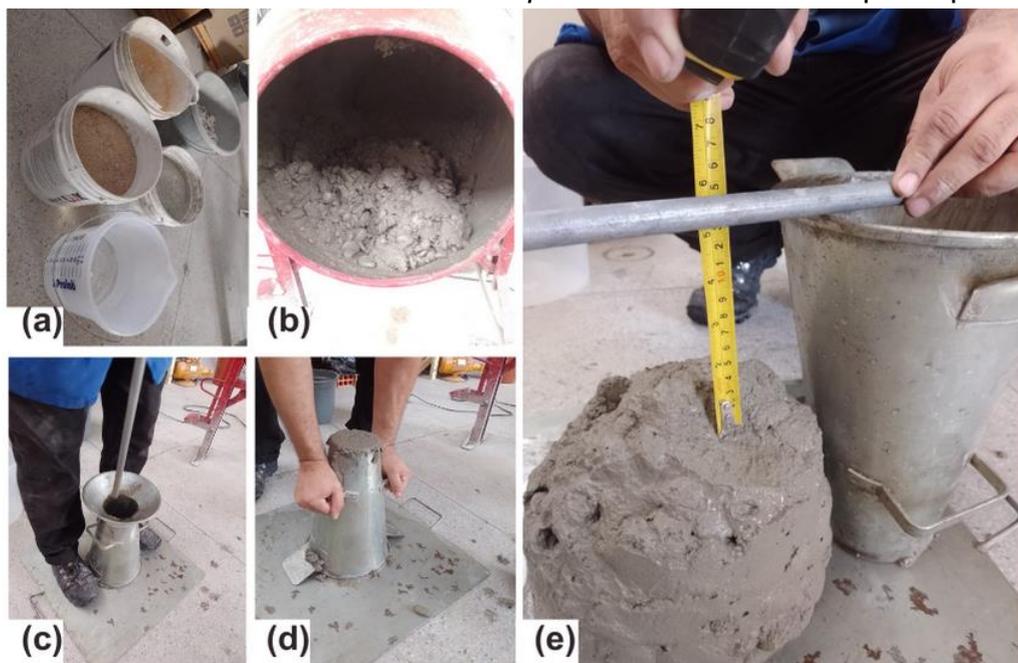


Fonte: Autora, 2023.

3.3.1 Slump Test - Abatimento do tronco de cone

O ensaio de *slump test* é comumente realizado em obra, no ato do recebimento do concreto (em caso de concreto usinado) ou após a produção do concreto (concreto moldado no local). Segundo a NBR 16889 (ABNT, 2020), o ensaio tem por finalidade determinar a consistência do concreto fresco por meio de seu assentamento. Tal procedimento é apropriado para concretos com características plásticas e coesivas. A fim de avaliar a qualidade e consistência do concreto, foi executado o ensaio de *slump test* – tanto no concreto composto por seixo (Figura 15) como no concreto composto por agregado graúdo reciclado (Figura 16) – proposto e apresentado através da NBR 16889 (ABNT, 2020).

Figura 15 – Processo do ensaio de *slump test* em concreto composto por seixo



Fonte: Autora, 2022.

Os materiais (Figura 15a e 16a), aos poucos, foram sendo colocados na betoneira (Figura 15b e 16b). Com o concreto pronto, foi iniciado o ensaio de abatimento de tronco de cone. A cada 1/3 do volume do cone, foram efetuados 25 golpes com a haste de abatimento (Figura 15c). Retirando o tronco de cone (Figura 15d), foi analisado o assentamento do concreto em questão (Figura 15e e 16c).

Figura 16 – Processo do ensaio de *slump test* em concreto composto por agregado graúdo reciclado.



Fonte: Autora, 2023.

3.3.2 Moldagem e cura dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015), compactados por meio da mesa vibratória. Na circunstância, foram moldados 12 corpos de prova de cada concreto para futuros ensaios que possuíam 28 dias de cura. O desmolde aconteceu com 24 horas após a produção dos corpos de prova e a cura foi realizada em um tanque composto por água saturada em cal. (Figura 17)

Figura 17 – Moldagem, cura e desmolde dos corpos de prova.



Fonte: Autora, 2022.

Primeiramente, foi passado óleo desmoldante nos moldes (Figura 17a). Em seguida, os moldes foram preenchidos com o concreto e colocados na mesa vibratória (Figura 17b). Após desmoldados (Figura 17c), os corpos de prova ficaram 28 dias de cura em tanque e foram retirados (Figura 17d).

3.3.3 Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica.

Já com o concreto endurecido, a absorção de água, o índice de vazios e a massa específica foram determinados por meio da execução da NBR 9778 (ABNT, 2005). O ensaio foi realizado após os corpos de prova passarem 72 horas em estufa. Foram utilizados 6 corpos de prova de cada concreto.

Na Figura 18, vê-se os corpos de prova submetidos a um dos passos dispostos em norma, com o intuito de obter a massa da amostra saturada imersa em água após fervura.

Figura 18 – Corpos de prova em água em ebulição.



Fonte: Autora, 2022.

Para o cálculo da absorção (A), em porcentagem, é utilizada a Equação 5:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (5)$$

onde:

m_{sat} é a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura;

m_s é a massa da amostra seca em estufa.

Para calcular o índice de vazios (I_V), em porcentagem, usou-se a Equação 6:

$$I_V = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (6)$$

em que:

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

O cálculo para indicar a massa específica da amostra seca (ρ_s) é dado através da equação 7:

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (7)$$

A massa específica da amostra saturada (ρ_{sat}) foi calculada por meio da Equação 8:

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad (8)$$

E calcula-se, por fim, a massa específica real (ρ_r) utilizando a Equação 9:

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad (9)$$

3.3.4 Resistência à compressão e tração

Após os 28 dias de cura, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de resistência tanto à compressão (Figura 19) como à tração (Figura 20), seguindo metodologias apresentadas nas normas NBR 5739 (ABNT, 2018) e NBR 7222 (ABNT, 2011), respectivamente.

Os ensaios foram realizados com a máquina de prensa disponível em laboratório. Para o ensaio de compressão, o corpo de prova foi colocado verticalmente (Figura 19), sendo preciso realizar uma retificação de suas faces.

Figura 19 – Ensaio de compressão.



Fonte: Autora, 2023.

Já para o ensaio de resistência à tração, o corpo de prova foi colocado horizontalmente, como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Ensaio de tração.



Fonte: Autora, 2023.

Tanto para o ensaio de resistência à compressão como para o ensaio de resistência à tração, foram utilizados 6 corpos de prova de cada concreto (com seixo rolado e com o agregado graúdo reciclado).

3.3.4.1 Cálculo de resistência à compressão

Inicialmente, mediu-se a altura de cada corpo de prova, os dois diâmetros e anotou-se a força aplicada até a ruptura de cada um deles.

Para o cálculo da resistência à compressão, foi utilizada a Equação 10, apresentada na NBR 5739 (ABNT, 2018).

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (10)$$

onde

f_c é a resistência à compressão, em megapascals (MPa);

F é a força máxima alcançada, em newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros (mm).

Após os ensaios, os corpos de prova tiveram características semelhantes às apresentadas na Figura 21.

Figura 21 - Corpo de prova (seixo) rompido após o ensaio de resistência a compressão



Fonte: Autora, 2023.

3.3.4.2 Cálculo de resistência à tração por compressão diametral

Primeiramente, foram coletados os dados de cada corpo de prova como o diâmetro e seu comprimento, além da força máxima resultante em ruptura do material.

Para calcular a resistência à tração por compressão diametral, a NBR 7222 (ABNT, 2011) foi utilizada a Equação 11:

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi \times d \times l} \quad (11)$$

onde,

$f_{ct,sp}$ é a resistência à tração por compressão diametral, em megapascals (MPa);

F é a força máxima obtida no ensaio, em newtons (N);

d é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros (mm);

l é o comprimento do corpo de prova, em milímetros (mm).

Os corpos de prova, após ruptura, possuíam características apresentadas na Figura 22.

Figura 22 - Corpos de prova rompidos após ensaio de resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Autora, 2023.

A figura 22a exibe um corpo de prova de concreto produzido com seixo rolado após a ruptura causada por tração. Enquanto que a figura 22b, expõe o corpo de prova de concreto composto por agregado graúdo reciclado, após o ensaio de resistência à tração.

4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados todos os resultados obtidos e coletados a partir de estudos e ensaios.

4.1 Composição granulométrica

Utilizou-se as peneiras de malha entre 64 mm e 4,8 mm, como limites superior e inferior, respectivamente, para o ensaio tanto com o seixo rolado como com o agregado graúdo reciclado usado na produção dos concretos em estudo.

4.1.1 Seixo rolado

Após a passagem das amostras nas peneiras, foi calculado o percentual de massa retida em cada malha com finalidade de obter a dimensão máxima característica, o módulo de finura e, assim, a classificação granulométrica.

A dimensão máxima característica foi igual a 31,5 mm, visto que foi a peneira de abertura nominal e série normal que apresentou uma porcentagem de massa retida igual a 4%. Módulo de finura igual a 7,61 e classificação granulométrica igual a 19/31,5, como descrito em Tabela 2.

Tabela 2 – Composição granulométrica (seixo rolado)

| Abertura das peneiras | % Retido |
|--------------------------------|----------------|
| 37,5 mm | 0 |
| 31,5 mm | 4 |
| 25,0 mm | 13 |
| 19,0 mm | 44 |
| 12,5 mm | 35 |
| 9,5 mm | 4 |
| 6,3 mm | 0 |
| Fundo | 0 |
| Dimensão máxima característica | 31,5 mm |
| Módulo de Finura | 7,61 |
| Classificação granulométrica | 19/31,5 |

Fonte: Autora, 2023.

4.1.2 Agregado graúdo reciclado

Após a passagem do agregado graúdo reciclado pelas peneiras, e calculando o percentual de massa retida, foram obtidos os dados da Tabela 3.

Tabela 3 – Composição granulométrica (agregado graúdo reciclado)

| Abertura das peneiras | % Retido |
|--------------------------------|--|
| 37,5 mm | 0 |
| 31,5 mm | 12 |
| 25,0 mm | 14 |
| 19,0 mm | 11 |
| 12,5 mm | 25 |
| 9,5 mm | 13 |
| 6,3 mm | 16 |
| 4,8 mm | 8 |
| Fundo | 1 |
| Dimensão máxima característica | 37,5 mm |
| Módulo de Finura | 7,09 |
| Classificação granulométrica | Intermediária entre 9,25/25 e 19/31,5 |

Fonte: Autora, 2023.

4.2 Massa específica

Com os dados obtidos (amostra seca em estufa - m_a , amostra na condição saturada superfície seca - m_b e amostra submersa em água na condição saturada superfície seca - m_c), foram feitos os cálculos com as pesagens do seixo rolado e agregado graúdo reciclado para definição das densidades em condição seca, em condição saturada superfície seca e a porcentagem de absorção de água. As massas específicas e absorção de água dos agregados estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Massas específicas/absorção de água dos agregados.

| Seixo Rolado | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| CONDIÇÃO SECA | 2.610 kg/m ³ |
| CONDIÇÃO SATURADA SUPERFÍCIE SECA | 2.624 kg/m ³ |
| ABSORÇÃO DE ÁGUA | 0,52% |
| Agregado Graúdo Reciclado | |
| CONDIÇÃO SECA | 2.240 kg/m ³ |
| CONDIÇÃO SATURADA SUPERFÍCIE SECA | 2.380 kg/m ³ |
| ABSORÇÃO DE ÁGUA | 6,09% |

Fonte: Autora, 2023.

4.3 Massa unitária

O ensaio foi realizado após os agregados saírem da estufa. O recipiente utilizado possuía diâmetro igual a 20,3 cm, altura igual a 19,2 cm e massa igual a 4,4 kg. Com tais dados, foi possível calcular o volume do recipiente através da fórmula matemática de volume do cilindro, visto que o recipiente utilizado possuía formato cilíndrico.

Utilizando o passo a passo disposto na NBR 16972 (ABNT, 2021), o seixo possuiu uma massa unitária igual a 1.611,91 kg/m³ enquanto que o agregado graúdo reciclado possuiu 1.408,07 kg/m³.

4.4 Slump Test – Abatimento do tronco de cone

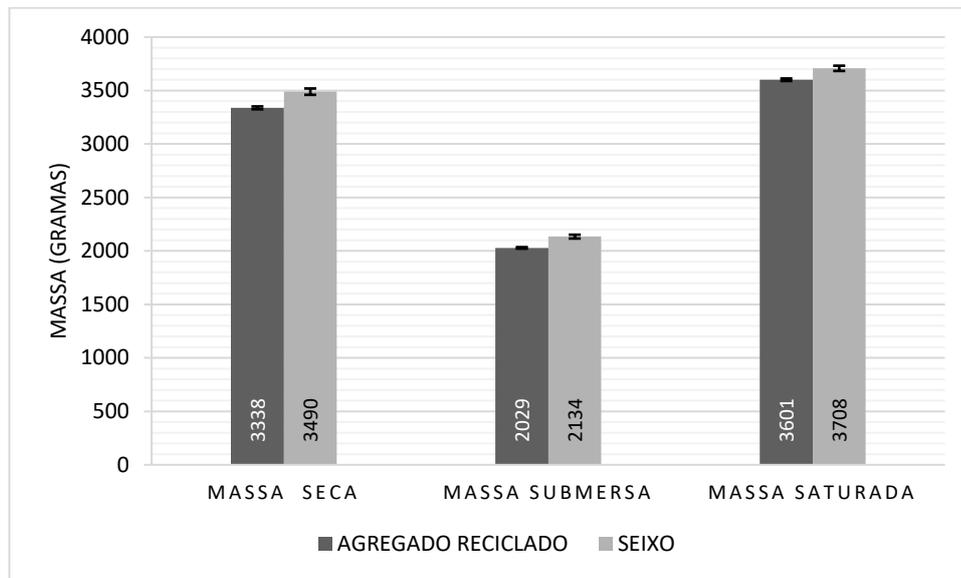
O ensaio de abatimento de tronco de cone foi realizado com os dois tipos de concreto. Os concretos precisaram ser corrigidos com aditivo superplastificante, visto que não possuíram a consistência que fora projetada para 13 ± 2 cm. Sendo assim, para o concreto composto por seixo, para corrigir o primeiro ensaio que resultou em 3 cm, foi adicionado 25 mL de aditivo; enquanto que no concreto composto por agregado graúdo reciclado, onde o primeiro ensaio resultou em um abatimento igual a 0, adicionou-se 100 ml de aditivo.

Ao fim, o concreto produzido com seixo rolado como agregado graúdo, obteve o *slump test* igual a 12 cm e o concreto produzido com o agregado graúdo reciclado como agregado graúdo, teve 13 cm de *slump test*.

4.5 Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica

O Gráfico 1 apresenta as massas média dos corpos de prova em suas diferentes condições. A partir delas, foram calculadas as massas específicas, o índice de vazios e a absorção de água.

Gráfico 1 - Massas dos corpos de prova

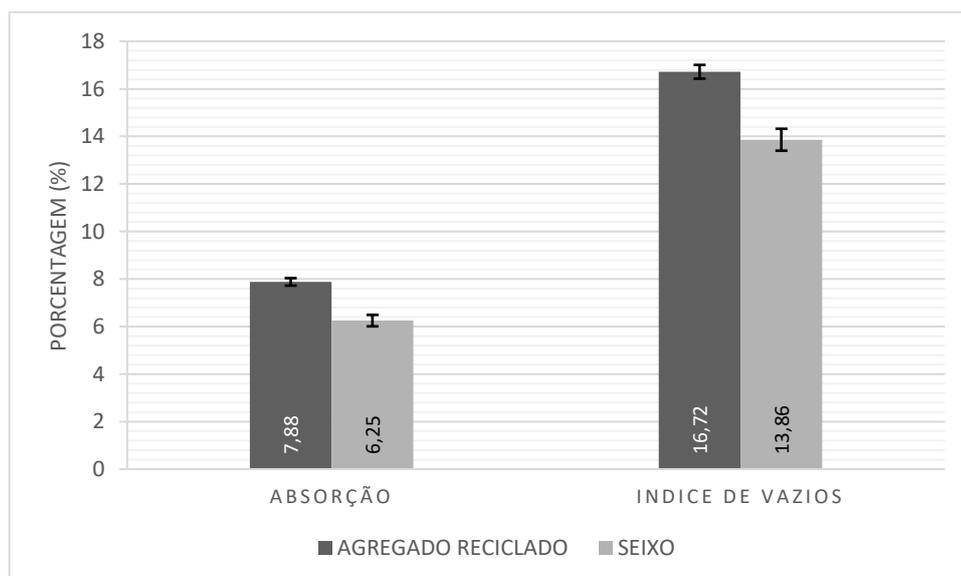


Fonte: Autora, 2023.

Como apresentado no Gráfico 1, os corpos de prova dos concretos com seixo rolado possuem uma maior massa em seus três estados quando comparado ao com agregado reciclado.

Após os cálculos dispostos na NBR 9778 (ABNT, 2005), foram obtidos os dados frutos de tal ensaio e que estão apresentados no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Absorção e índice de vazios dos concretos.

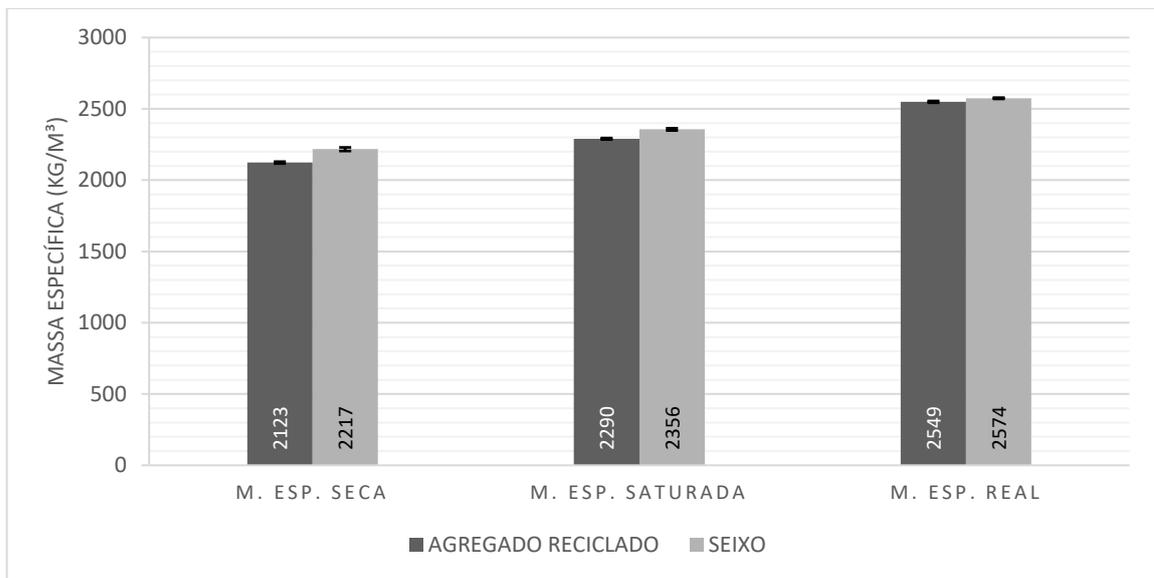


Fonte: Autora, 2023.

Através dos dados apresentados no Gráfico 2, evidencia-se a alta capacidade de absorção de água do agregado reciclado em relação ao seixo. O que é indicado também no ensaio de índice de vazios, onde o seixo apresenta-se com baixo resultado comparado ao agregado reciclado.

As massas específicas seca, saturada e real, também foram encontradas e estão dispostas no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Massas específicas dos concretos.



Fonte: Autora, 2023.

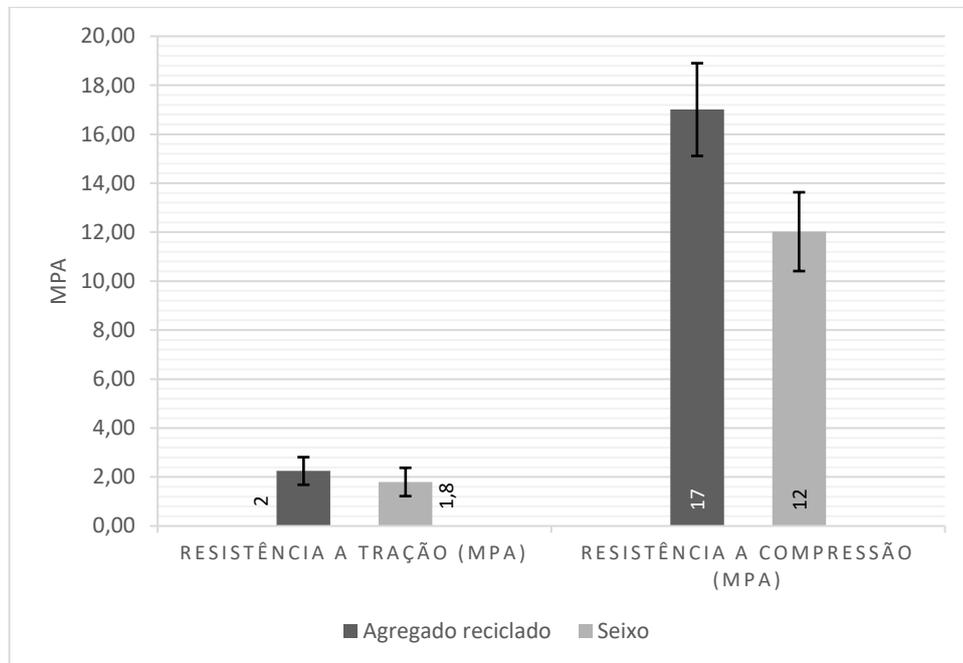
Como apresentado no Gráfico 3, o seixo apresenta maior massa específica nos três estados, expressando um alto consumo do agregado em questão, aumentando o custo do produto final, além de aumentar a exploração e, conseqüentemente, degradação ambiental.

4.6 Cálculo de resistência à compressão e resistência a tração por compressão diametral.

De acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018), os dados obtidos em laboratório e utilizando a Equação 2, foi possível o cálculo da resistência a compressão dos concretos em estudo. Realizando os passos expostos e equação apresentada na NBR 7222 (ABNT, 2011), e utilizando os dados colhidos também em laboratório, a

resistência à tração por compressão diametral foi calculada. Os resultados estão apresentados no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Resistência à tração e compressão dos concretos.



Fonte: Autora, 2023.

O Gráfico 4 apresenta dados que comprovam a desigualdade quanto a resistência mecânica dos concretos em estudo, fato que evidencia a pouca aderência proporcionada pelo seixo rolado e que no agregado reciclado é mais alta e auxilia na qualidade e resistência do corpo de prova.

5. CONCLUSÃO

Através da apresentação dos dados obtidos por meio de análise e aplicação de normas, foi realizada uma comparação entre o concreto composto por agregado graúdo reciclado e o concreto composto por seixo rolado que proporcionou a formação das seguintes constatações:

- Quanto ao potencial de uso, os valores finais da classificação granulométrica, para ambos os agregados, designam permissão para utilização de tais materiais como sendo agregados graúdos na composição de concretos. Sendo assim, o agregado graúdo reciclado possui potencial quanto agregado graúdo de acordo com ensaios e parâmetros dispostos em normas;
- Quanto a resistência, o concreto composto pelo seixo rolado possuiu menor valor quando comparado ao concreto composto pelo agregado graúdo reciclado, algo que é indiretamente apresentado nos resultados encontrados no ensaio de absorção de água e índice de vazios – já que os dois itens foram apresentados com valores menores para o seixo rolado.

Algo notável durante os testes de prensa, e que foi disposto no desenvolvimento do presente trabalho, foi a falta de aderência viabilizada pelo seixo. Ademais, é possível concluir que o seixo rolado, ao ser utilizado como agregado graúdo compondo concretos, não oferece resistências mecânicas tão eficientes quanto o agregado graúdo reciclado e, antagônico ao agregado reciclado, sua extração afeta negativamente o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. P. **Influência dos agregados graúdos da região de Palmas no módulo de deformação tangente inicial e no módulo secante do concreto.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Luterana de Palmas. Palmas, p. 49, 2019.

AMADOR, E.S. **Extração de Areia em Faixas Litorâneas, Impactos Ambientais.** Rio de Janeiro, p. 32, 1985.

ÂNGULO. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

ANNIBELLI, M. B.; SOUZA FILHO, C. F. M. **Mineração de areia e seus impactos sócio-econômico-ambientais.** In: CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI, 16., 2007, Belo Horizonte. Anais. Belo horizonte, 2007.

ARAÚJO, D. L.; FELIX, L. P.; SILVA, L. C.; SANTOS, T. M. **Influência de agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânicas do concreto.** Revista Eletrônica de Engenharia Civil. V. 11, n. 1, p. 16 – 34, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama 2018/2019.** São Paulo, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2022.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento.** Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: **Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16917: **Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16972: **Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17054: **Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2022.

ATHAYDE, P. B. **Influência do uso de agregados reciclados nas propriedades dos concretos**. Monografia (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 59. 2018.

BARROS, H. T. G. **Resíduos de construção e demolição: aspectos e diretrizes**. 2017. 69 p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2017.

BLUMENSCHNEIN, R. N. **Manual Técnico: Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiro de Obras**. Brasília: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE/DF. 2007.48 p.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2020.

BUTTLER, A. M. **Concretos com agregados graúdos de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. 2003. 187p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CABRAL, E. M.; SÁ, R. J.; VIEIRA, R. K.; VASCONCELOS, R. P. **Utilização de massas cerâmicas na produção de agregado sintético de argila calcinada para uso em concreto**. Revista Cerâmica, n. 54, p. 404-410. 2008.

CARNEIRO, A. M. P.; BARATA, M. S.; PICANÇO, M. S. **Análise de propriedades de concretos produzidos com agregados de composição granulométrica otimizada**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51, 2002. Belo Horizonte, MG. Anais eletrônicos. Belo Horizonte: IBRACON, 2002.

CASTRO, C. X. **Gestão de resíduos na construção civil**. Belo Horizonte, 2012. 54 p. Trabalho De Conclusão De Curso (Especialização Em Construção Civil) - Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307**. Brasília, 2002.

CONTENCO. **Máquina de abrasão Los Angeles**. Disponível em: <https://contenco.com.br/produto/maquina-de-abrasao-los-angeles-i-3021/>. Acesso em: 25 de Agosto de 2022.

COSTA, K. J. C. **Análise da substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de fibrocimento na produção de argamassa de assentamento**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Delmiro Gouveia, p. 70. 2021.

FALEIRO, F. F.; LOPES, L. M. **Aspectos da mineração e impactos da exploração de quartzito em Pirenópolis-GO**. Revista eletrônica Ateliê Geográfico, Goiânia, v. 4, n. 11, p.148-162, Agosto, 2010. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/604/1/art_quartzito_Faleiro.pdf.

FREITAS, G. N. **Projeto preliminar para realocação e adequação do espaço físico do laboratório de pavimentação da UFSC**. Florianópolis, 2017. 114 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017

FROTA, C. A.; MENTA, C. O.; NUNES, R. F. G. (2003). **Utilização de entulho reciclado em misturas asfálticas para a região de Manaus – AM**. In: Reunião de Pavimentação Urbana, 12, Aracaju. Anais: CD-ROM.

FROTTÉ, C.; NUBILA, C. S. A.; NAGALLI, A.; MAZER, W.; MACIOSKI, G.; OLIVEIRA, L. O. S. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD**. Revista Matéria, v. 22, n.2, 17p., junho, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/4mZ9PFnw7vf4FGZyh8yZVXm/?format=pdf&lang=pt>

FURLANETTO, P. **Seixo rolado no concreto: tudo que você precisa saber**. Artigo [online], 2020. Disponível em: <https://neoipsum.com.br/seixo-rolado-no-concreto/#:~:text=As%20propriedades%20do%20seixo%20rolado%20no%20concreto&text=A%20redu%C3%A7%C3%A3o%20do%20uso%20de,uma%20estrutura%20com%20maior%20durabilidade>. Acesso em: 16 de Março de 2022.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenarias**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 208. 2001.

METSO. **Manual de britagem**. 6 ed. Sorocaba: Metso Minerals, 2005. 512p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 887 p. ISBN 90040-340.

PINHEIRO, C. S. S. **Extração de areia e seixo: desenvolvimento ou degradação? O caso de Porto Grande/AP**. 2016. 134p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento), Universidade Federal do Pará. Macapá, 2016.

QUARESMA, L. F. **Perfil de brita para construção civil**. Relatório Técnico, Ministério de Minas e Energia – MME. Brasília, 2009.

RAMOS, V. E. T. T. **Análise das propriedades de concreto produzido com agregado miúdo reciclado proveniente de corpos de prova de concreto**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Delmiro Gouveia, p. 48. 2021.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Gestão dos resíduos gerados nos canteiros de obras**. 2014. Disponível em: [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/2160de308ea54315581bac0466b81ca0/\\$File/2014_07_30_RT_Maio_ConstrucaoCivil_ResiduosSolidos_pdf.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/2160de308ea54315581bac0466b81ca0/$File/2014_07_30_RT_Maio_ConstrucaoCivil_ResiduosSolidos_pdf.pdf).

SILVA, G. T. M.; RIBEIRO, C. C.; RIBEIRO, S. E. C.; OLIVEIRA, D. M.; OLIVEIRA, W. S.; ALMEIDA, M. L. B. **Resíduos de construção e demolição em tecnologia de concreto: uma revisão**. Brazilian Journal of Development, 2020. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/13210/11107>. Acesso em: 16 de Agosto de 2022.

SOUZA, E. **A reciclagem de concreto já é uma realidade**. ArchDaily Brasil. 2022. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/972706/a-reciclagem-de-concreto-ja-e-uma-realidade>. Acesso em: 16 de Abril de 2023. ISSN 0719-8906

SOUZA, L. M. **Utilização de resíduos da construção e demolição (RCD) em formulações de revestimentos para pavimentação urbana permeável**. 2022, 260p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade São Judas Tadeu. São Paulo, 2022.

STEUER, I. R. W.; BARBOSA, N. O.; HORA, B. L. F.; SILVA, M. I. O.; HOLANDA, R. M. **Agregados da construção: estudo de caso sobre o seixo rolado utilizado no paisagismo**. XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2013.

SZIGETHY, L.; ANTENOR, S. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. Artigo [online], 2021. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 11 de junho de 2022.

TRIGO, A. P. M.; LIBÓRIO, J. B. L. **Emprego da técnica de dopagem em concretos com seixo rolado**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, v. 13, n. 59, p. 4. 2011.

VARELA, J. **Critérios de seleção de britadores aplicados ao processamento mineral**. XXIV ENTMME, Salvador/BA, 8p. 2011.

VIANA, B. A. S. **Caracterização estratigráfica, química e mineralógica do massará e conflitos socioambientais associados a sua exploração em Teresina, PI, Brasil.** Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 222, 2013.

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