



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

EDUARDO BONARELLI DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM
DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM UMA OBRA DO
MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO

RIBEIRÃO PRETO
2024

EDUARDO BONARELLI DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM
DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM UMA OBRA DO
MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO

Dissertação apresentada à Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr. Isadora Alves Lovo Ismail.

Coorientador: Prof. Dr. Lisandro Simão.

Ribeirão Preto
2024

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto –

SANTOS, Eduardo Bonarelli dos, 1991-
S237a Avaliação da viabilidade da reutilização e reciclagem de resíduos
da construção civil em uma obra do município de Ribeirão Preto /
Eduardo Bonarelli dos Santos. – Ribeirão Preto, 2024.
86 f. : il. color.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Isadora Alves Lovo Ismail.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto,
UNAERP, Mestrado em Tecnologia Ambiental, 2024.

1. Construção civil. 2. Meio ambiente - Gerenciamento.
3. Resíduos. II. Título.

CDD 624

EDUARDO BONARELLI DOS SANTOS
AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM UMA OBRA DO MUNICÍPIO DE
RIBEIRÃO PRETO

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação Tecnologia
Ambiental do Centro de Ciências Exatas,
Naturais e Tecnologias da Universidade de
Ribeirão Preto, para a obtenção do título
de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Profa. Dra. Isadora Alves Lovo
Ismail.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental
Data da defesa: 25 de março de 2024
Resultado: **APROVADO**

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 ISADORA ALVES LOVO ISMAIL
Data: 16/04/2024 17:21:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Isadora Alves Lovo Ismail
Presidente/UNAERP

Documento assinado digitalmente
 VALDIR SCHALCH
Data: 27/03/2024 11:46:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Valdir Schalch
USP

Documento assinado digitalmente
 MURILO DANIEL DE MELLO INNOCENTINI
Data: 16/04/2024 15:52:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello Innocentini
UNAERP

RIBEIRÃO PRETO
2024

Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo Rubens e Maria Aparecida, minha esposa e companheira, Bruna, meus irmãos Paula e Ricardo, que sempre me apoiaram e acreditaram no meu sonho, ajudando e incentivando na concretização desta pesquisa. Obrigado!

AGRADECIMENTOS

Para elaboração desta pesquisa tive apoio de vários colaboradores e incentivo de diversas pessoas e instituições, seja sua participação direta ou indireta, acredito que destes apoios muitos são os agradecimentos que precisam ser feitos.

Primeiramente a Deus, por me dar mais essa oportunidade de vida, em poder buscar os conhecimentos e concretizar meus sonhos cada dia mais.

A minha esposa Bruna, sua compreensão e amor permitiu-me manter a cabeça erguida, persistir diante de todos os desafios e todo apoio até aqui.

A minha orientadora Prof.^a Dr. Isadora Alves Lovo Ismail, pela paciência que aqui não consigo descrever o quanto sou grato e a competência com a qual conduziu as orientações, sempre com muita presteza e sabedoria.

À Universidade de Ribeirão Preto responsável pela construção da minha base acadêmica.

Aos amigos e colegas de classe e jornada, por todo aprendizado e amizade que tivemos ao longo deste Mestrado e principalmente aos momentos de descontração ao longo da formação acadêmica.

Aos meus pais e familiares, pelos incansáveis esforços de paciência comigo ao longo deste período, aos esforços empregados em minha educação, pelo exemplo de integridade e honestidade que sempre foi dado e por sempre representarem os exemplos a serem seguidos.

RESUMO

O interesse pela preservação do meio ambiente tem se tornado mais notável nos últimos anos, levando o Estado, instituições e municípios a implementarem medidas para reduzir a liberação de poluentes. Com esse foco, a questão dos resíduos gerados pela construção civil e seu impacto ambiental ganharam destaque, levando ao desenvolvimento de novas estratégias para a reutilização e reciclagem desses resíduos, podendo assim, analisar a influência da adição do resíduo na construção civil como forma alternativa de minimizar os impactos negativos ao meio ambiente. Com o intuito de entender o conhecimento e o impacto que a construção civil traz no meio ambiente e sobre como é possível o gerenciamento dos resíduos gerados nas obras, tem-se o estudo realizado acerca da reutilização desses resíduos e sua transformação em uma fonte alternativa de matéria-prima. O estudo objetiva apresentar uma alternativa sustentável para a reutilização de resíduos de concreto, explorando sua aplicação no setor da construção civil. A metodologia aplicada à reutilização deste tipo de resíduo encontra-se em um estágio inicial de desenvolvimento e requer aprimoramento, sobretudo ao considerar as características específicas deste material, o propósito desta investigação é, portanto, fornecer uma contribuição significativa para a análise dos elementos que influenciam o procedimento de reutilização e para a expansão da compreensão relativa aos materiais produzidos utilizando-se agregados reciclados. Através da britagem das sobras de concreto, é viável a obtenção de um agregado reciclado, o qual detém potencial para ser empregado em concretos tradicionais, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade ambiental e retorno financeiro para o empreendimento. Neste contexto, a economia potencial para o empreendimento analisado pode ser significativa. Conforme os resultados obtidos na pesquisa indicam que a utilização de agregados provenientes de resíduos de construção civil (RCC) poderia resultar em economias significativas para a obra. Observou-se que o concreto convencional de resistência característica à compressão (FCK) de 15 MPa, quando produzido com agregado reciclado, é em média 8% mais econômico do que o concreto convencional produzido com agregados naturais. Este resultado tem implicações positivas importantes para empreendimentos de grande porte. Por exemplo do empreendimento em estudo de 1000 unidades, se esse concreto reciclado for utilizado nas calçadas com uso de concreto de 15 MPa, que neste estudo representam um volume de 10.956,55 m³ de concreto, a economia seria de, aproximadamente, R\$ 230.000,00. Esses dados reforçam a viabilidade econômica e a sustentabilidade da utilização de agregados reciclados na indústria da construção civil, contribuindo para a redução de custos e o manejo responsável de resíduos.

Palavras-chave: Construção civil; Meio ambiente; Gerenciamento; Resíduos.

ABSTRACT

Interest in preserving the environment has become more notable in recent years, leading the State, institutions and municipalities to implement measures to reduce the release of pollutants. With this focus, the issue of waste generated by civil construction and its environmental impact gained prominence, leading to the development of new strategies for recycling and reusing this waste, thus being able to analyze the influence of the addition of waste in civil construction as an alternative form of minimize negative impacts on the environment. In order to understand the knowledge and impact that civil construction has on the environment and how it is possible to manage the waste generated in construction, a study has been carried out on the recycling of this waste and its transformation into an alternative source of feedstock. The study aims to present a sustainable alternative for recycling concrete waste, exploring its application in the construction sector. The methodology applied to recycling this type of waste is at an early stage of development and requires improvement, especially when considering the specific characteristics of this material. The purpose of this investigation is, therefore, to provide a significant contribution to the examination of the elements that influence the recycling procedure and to expand understanding regarding materials produced using recycled aggregates. By crushing leftover concrete, it is feasible to obtain recycled aggregate, which has the potential to be used in traditional concrete, in line with the principles of environmental sustainability and financial return for the enterprise. In this context, the potential savings for the analyzed enterprise can be significant. According to the results obtained in the research, the use of aggregates from construction waste (CW) could result in significant savings for the project. It was observed that conventional concrete with a feature compression know (FCK) of 15 MPa, when produced with recycled aggregate, is on average 8% more economical than conventional concrete produced with natural aggregates. This result has important positive implications for large enterprises. For example, in the project under study of 1000 units, if this recycled concrete is used in sidewalks using 15 MPa concrete, which in this study represents a volume of 10,956.55 m³ of concrete, the savings would be approximately \$ 43.866,34. These data reinforce the economic viability and sustainability of using recycled aggregates in the construction industry, contributing to cost reduction and responsible waste management.

Keywords: Construction; Environment; Management; Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Usinas de reciclagem e entulho.	33
Figura 2 - Preço de venda de agregados no Brasil	35
Figura 3 - Processo de reciclagem de RCC	36
Figura 4 - Equipamento para reuso do agregado convencional, partir do concreto fresco	38
Figura 5 - Fluxograma das etapas de realização do trabalho.....	42
Figura 6 - Foto feita com drone no empreendimento em obra de Ribeirão Preto.....	44
Figura 7 - Resíduos de corpos de prova coletados na obra	46
Figura 8 - Material coletado RCC comum CLASSE A.....	46
Figura 9 - Material descartado após concretagem	47
Figura 10 - Material coletado: Concreto usinado resto de concretagem	47
Figura 11 - Ensaio de abatimento de tronco de cone	50
Figura 12 - Armazenamento de corpos de prova para teste de compressão	51
Figura 13 - Equipamento de ensaio de compressão digital.....	51
Figura 14 - Ensaio de compressão axial do concreto.....	53
Figura 15 - Quebra manual do concreto com equipamento marteleto.....	58
Figura 16 - Coleta da amostra do agregado reciclado britado manualmente	60
Figura 17 - Peneira de granulometria e agitador	60
Figura 18 - Material coletado conforme carta traço e material reciclado	62
Figura 19 - Material sendo produzido com auxílio de betoneira	64
Figura 20 - Teste slump do concreto com agregado reciclado.....	65
Figura 21 - Corpo de Prova moldado conforme norma e separado para teste.....	65
Figura 22 – Tampa de passagem de 60x60 cm produzida a partir do concreto com agregado reciclado.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Referências de classes, origem, tipos de destinação de RDC conforme Resolução CONAMA.....	21
Quadro 2 - Especificações mínimas de materiais a serem utilizados na construção de habitações sociais	24
Quadro 3 - Áreas de destinação, e suas respectivas descrições e licenciamentos..	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teste de espaçamento concreto	27
Tabela 2 - Índices de reciclagem de RCD e capacidade produtiva	35
Tabela 3 – Absorção de água e índice de vazios	39
Tabela 4 – Relação da propriedade do concreto reciclado	39
Tabela 5 – Informações relacionadas ao local da obra de estudo.....	43
Tabela 6 - Referência de m ³ concreto para estrutura de parede usado na obra e dias de concretagem	44
Tabela 7 - Conjunto de peneiras sucessivas	49
Tabela 8 - Especificações equipamento conforme manual de instruções	54
Tabela 9 - Potência dos equipamentos de uma usina de RCC	54
Tabela 10 - Relatório Ensaio Agregado Reciclado	56
Tabela 11 - Identificação do número da brita conforme Norma 7211 e 7225	59
Tabela 12 - Carta traço de concreto a ser utilizado	62
Tabela 13 - Referência do concreto FCK 15 em menor quantidade de 1 m ³ para 50 L	63
Tabela 14 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos	67
Tabela 15 - Consumo de energia para o processamento dos RCC	68
Tabela 16 - Valor por hora do processamento agregado reciclado manual.....	69
Tabela 17 - Custo e produção do processador manual e industrial por mês.....	70
Tabela 18 - Preço para venda de agregados na região metropolitana de Goiânia (Junho de 2019).....	71
Tabela 19 - Preço cobrado para a venda de agregados (Junho de 2019)	71
Tabela 20 - Custos com salário colaborador	72
Tabela 21 - Valores de material para execução de massa de concreto com agregado natural.....	73
Tabela 22 - Custo de 1 m ³ de concreto FCK15 com agregado natural.....	73
Tabela 23 - Custo de 1 m ³ de concreto FCK15 com agregado reciclado.....	74
Tabela 24 - Economia do agregado reciclado em obra (agregado processado em usina recicladora).....	75

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

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

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CIB – Conselho Internacional da Construção

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

ESG – Environment Social Governance

ISO – International Organization for Standardization

MCMV - Minha Casa Minha Vida

NBR - Norma Brasileira Registrada

NR – Norma Regulamentadora

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PDRE - Plano Diretor de Resíduos e Efluentes

PGRCC - Plano de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil

PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PIB – Produto Interno Bruto

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

RCC - Resíduos da Construção Civil

RCD - Resíduos da Construção e Demolição

SAERP – Secretaria de Água e Esgoto de Ribeirão Preto

SIGOR - Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos

SINAPI - Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
3.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	23
3.3 IMPACTO AMBIENTAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	24
3.4 ESTRUTURA DE PAREDE DE CONCRETO E GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	25
3.5 EFEITOS SOCIOAMBIENTAIS DOS RCDs.....	30
3.6 RECICLAGEM DE AGREGADO NO BRASIL.....	32
3.7 UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	36
3.8 REUSO DO AGREGADO CONVENCIONAL A PARTIR DO CONCRETO FRESCO	37
3.9 RECICLAGEM DO RCD POR BRITAGEM	40
4 MATERIAL E MÉTODOS	42
4.1 LOCAL DA OBRA EM ESTUDO	43
4.2 COLETA E PREPARAÇÃO DO RCC PARA O ESTUDO	45
4.3 OBTENÇÃO DOS CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS	48
4.4 CUSTO COM SALÁRIOS.....	53
4.5 CUSTO COM ENERGIA	53
4.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS AGREGADOS RECICLADOS E AGREGADOS NATURAIS	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1 GRANULOMETRIA	56

5.2 CONCRETO.....	61
5.3 CARACTERIZAÇÕES DOS CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS	64
5.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	67
5.5 VIABILIDADE ECONÔMICA	68
5.6 COMPARAÇÃO DO PRODUTO NO MERCADO.....	70
5.7 VIABILIDADE DE CUSTO PARA OBRA.....	72
6 CONCLUSÕES.....	76
REFERÊNCIAS	78
ANEXO I – RELATÓRIO TECNOLÓGICO COM A GRANULOMETRIA DO MATERIAL COLETADO PARA TESTE	83
ANEXO II – CARTA TRAÇO PARA CONCRETO FCK 15	84
ANEXO III – RELATÓRIO TECNOLÓGICO CORPO DE PROVA.....	85
ANEXO IV – VALORES DAS TARIFAS DE ÁGUA E ESGOTO.....	86

1 INTRODUÇÃO

O ramo da construção civil enfrenta diversos obstáculos, tanto do ponto de vista econômico quanto produtivo, sendo a sustentabilidade um dos desafios mais significativos. A indústria da construção tem causado impactos ambientais significativos devido à quantidade de resíduos gerados em obras e demolições, além de prejudicar o meio ambiente com a extração de recursos naturais como areia, brita, cal e água potável.

Os detritos provenientes da construção civil podem conter pedaços de tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solos, pedras, metais, resinas, tintas, madeira e compensados, argamassa, entre outros materiais. Por meio da Resolução nº 306 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), esses resíduos foram categorizados em diferentes classes, identificando aqueles passíveis de reutilização ou reciclagem para serem empregados como agregados.

Dessa forma, durante as etapas e métodos envolvidos na construção civil, o percurso realizado causa consequências adversas ao meio ambiente, especialmente no que se refere aos resíduos, que em sua maioria são descartados em locais inadequados. Isso evidencia a crucial importância de implementar medidas que reduzam os impactos ambientais durante a realização de projetos.

Ainda no âmbito financeiro, muitas empresas estão adotando um orçamento mais enxuto diariamente, ao passo que os clientes estão cada vez mais exigentes em relação aos padrões de qualidade das obras executadas. Além disso, foi crescente a necessidade de garantir que os empreendimentos atendam a todas as normas, exigências e critérios ambientais, de modo a serem inseridos de forma sustentável no ambiente urbano, causando o mínimo de impacto possível ao meio ambiente e à infraestrutura urbana já existente.

Em comparação com as indústrias, a construção civil se destaca como a mais antiga e, conseqüentemente, é vista como a mais tradicional. A necessidade de construir advém da origem do homem. Com amparo na sustentabilidade, meio ambiente e no gerenciamento de resíduos, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos implementou medidas de responsabilização de empresas no âmbito da construção civil, na grande maioria construtoras, afim de que descartes de resíduos em terrenos baldios, margens de rios ou em outros ambientes desapropriados e inadequados devem ser evitados para que possam gerenciar esses resíduos de forma adequada.

Assim, uma das formas de conciliar a atividade produtiva das obras de construção civil de maneira sustentável e conseqüentemente que agrida menos o meio ambiente, seria a reutilização e reciclagem dos resíduos em diversos produtos. Onde, dentre os vários itens que podem ser feitos a partir desses resíduos reciclados, pode-se citar o concreto convencional com agregado reciclado, para utilização em requadros de concreto, caixas pré-moldadas, calçadas, móveis rústicos (banco de praça, concreto magro de embasamento), dentre outros, e, no presente trabalho, foram utilizados os resíduos sólidos gerados pelo sistema construtivo de parede de concreto.

O estudo tem como objetivo analisar as práticas com a gestão de resíduos em um projeto municipal de grande escala, especificamente uma construção de mais de 1000 unidades habitacionais populares com estruturas de paredes de concreto. Além disso, visa-se analisar a geração de resíduos decorrentes ao processo executivo deste empreendimento e as práticas adequadas para a sua reutilização e ou reciclagem. Esta análise é conduzida em conformidade com o plano diretor municipal, que enfatiza a sustentabilidade ambiental e a reciclagem de resíduos no setor da construção civil.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral e específicos da pesquisa estão apresentados a seguir.

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi realizar um estudo do gerenciamento dos resíduos gerados em concretagem de obras com estruturas em parede de concreto, analisando-se a viabilidade técnica, econômica e sustentável do reuso desse material como agregado de utilização simples.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atender ao objetivo geral, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Propor a gestão sustentável dos resíduos gerados no canteiro de obras de parede de concreto.
- Analisar tecnicamente a resistência do concreto reciclado através de ensaios de compressão.
- Analisar o processo de gerenciamento de resíduo gerado pela construção e os processos de reuso dos mesmos *in loco*, seu sistema de logística e processo de reciclagem.
- Analisar a viabilidade econômica do reciclado caso fosse utilizado na obra em estudo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O primeiro documento que estabelece, padrões e procedimentos para a gestão do RCC no Brasil foi a Resolução nº. 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002). De acordo com esta decisão, os resíduos da construção civil são classificados como:

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

A resolução nº. 307 foi alterada com o passar dos anos pelas seguintes resoluções:

- Resolução nº. 348 de 16 de agosto de 2004: incluiu o amianto na classe de resíduos perigosos;
- Resolução nº. 431 de 24 de maio de 2011: estabelece nova classificação para o gesso;
- Resolução nº. 448 de 18 de janeiro de 2012: definiu o tratamento e a disposição final ambientalmente correta dos RCC como um dos objetivos prioritários dos gerados;
- Resolução nº. 469 de 29 de julho de 2015: estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC.

A resolução nº. 307, juntamente com seus acréscimos, não apenas estabelece o conceito de RCC, mas também propõe sua divisão em quatro categorias, levando em conta as particularidades e nível de perigo dos resíduos.

Segundo Oliveira (2015), A construção civil é responsável por 40% da economia global, bem como por 34% do fornecimento mundial de água e 40% de toda a energia produzida no mundo. Como resultado, esses números elevados para uma produção de entre 35 e 40 por cento de toda produção nas cidades. O setor representa 20% de toda a energia produzida no Brasil e aproximadamente 50% da energia elétrica gerada. Além disso, o cimento, um dos materiais construtivos mais

populares, é responsável por 8 a 9% da geração de gás carbônico do país. De acordo com o Conselho Internacional da Construção (CIB), a construção civil está entre os principais setores que impactam o meio ambiente. Pinto (1999) também fez uma estimativa de geração per capita de resíduos da construção civil, encontrando valores entre 230 e 760 kg por habitante, o que representa uma média de 495 kg hab⁻¹ ano.

A disposição incorreta desses resíduos pode causar significativos impactos ambientais, como a contaminação de corpos d'água, obstrução de vias e dispositivos de drenagem, poluição dos solos, degradação de ambientes urbanos a partir do depósito em local inadequado e propagação de insetos vetores de doenças. Para Klein e Gonçalves-Dias (2016), entre as principais fontes geradoras de resíduos de construção e demolição (RCD), destacam-se as reformas, ampliações e demolições raramente formalizadas; as novas edificações com área superior a 300 m² e as residências individuais que, em grande parte, são autoconstruídas e realizadas de forma informal.

No Brasil, a disposição adequada desses resíduos ainda é um obstáculo, visto que, apenas uma pequena parte dos municípios possui estrutura necessária para a destinação correta do material descartado, como aterros de inertes e usinas de reciclagem para os resíduos de Classe A, como determinam a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal 12.305/2010. Dessa forma, boa parte dos RCD são destinados incorretamente, agravando ainda mais os problemas ambientais (PERINA; TRANNIN, 2019).

A resolução nº. 307 ainda define reutilização como o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo, e reciclagem como o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação (CONAMA, 2002).

A Resolução Conama nº 307/2002 estabelece, no Art. 3º, a classificação dos resíduos da construção civil e demolição, descrita a seguir:

Classe A - São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto ; c) de

processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras.

Classe B - São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso (Redação dada pela Resolução nº 469/2015).

Classe C - São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação (Redação dada pela Resolução nº 431/11).

Classe D - São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (Redação dada pela Resolução nº 348/04).

A normativa também estabelece, em seu Art. 10º, a destinação correta dos RCD após o processo de triagem, impedindo o descarte em locais não licenciados, bem como, as obrigações de reciclagem e de descarte de cada classe de resíduo:

Classe A - Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos Classe A para preservação de material para usos futuros (nova redação dada pela Resolução nº 448/12).

Classe B - Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados à áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

Classe C - Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Classe D - Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas (nova redação dada pela Resolução nº 448/12).

A Resolução Conama nº 448/12 altera a Resolução nº 307/2002 e estabelece que os resíduos de construção e demolição, não podem em hipótese alguma, ser destinados a aterros de resíduos sólidos urbanos, regiões denominadas como “bota-foras”, encostas, corpos d’água, terrenos baldios ou áreas que possuem proteções descritas em Lei, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Referências de classes, origem, tipos de destinação de RDC conforme Resolução CONAMA

Classe	Origem	Tipo de Resíduo	Destinação
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados	Da pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de operações de terraplanagem. Da construção, demolição, reformas e reparos de edificações (componentes cerâmicos, tijolos, blocos, telhas e placas de revestimento, concreto e argamassa)	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da Construção Civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura
B	Resíduos recicláveis com outras destinações	Plásticos, gesso, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura
C	Resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas técnicas de aproveitamento	Não especificação pela resolução	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas
D	Resíduos perigosos oriundos de processo de construção	Tintas, solventes, óleos, amianto	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas
	Contaminados, oriundos de demolições, reforma e reparo, enquadrados como classe I na NBR 10004	Clínicas radiológicas, instalações, indústrias e outros	

Fonte: PASCHOALIN, 2015.

No dia 30 de julho de 2004, foi divulgado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) um conjunto de diretrizes relacionadas aos resíduos provenientes da construção civil, com o objetivo de regular os locais de coleta desses

resíduos, os aterros para seu descarte final, as áreas destinadas à reciclagem e as possíveis formas de destinação. As normas mencionadas nesse contexto são as seguintes:

Norma NBR 15112 estabelece os critérios necessários para a concepção, instalação e funcionamento de instalações de transferência e seleção de resíduos provenientes da construção civil.

Norma NBR 15113 - estabelece os critérios mínimos necessários para planejamento, instalação e funcionamento de depósitos de entulho provenientes da indústria da construção.

Norma NBR 15114 estabelece os critérios mínimos necessários para o planejamento, estabelecimento e manutenção de instalações de reciclagem de resíduos sólidos provenientes da construção civil de Categoria A.

Norma NBR 15115 define os padrões para a aplicação de reforço nas camadas do solo inferior, sub-base e base das vias, assim como na camada de revestimento inicial, utilizando agregados reciclados provenientes de resíduos sólidos da construção civil, conhecido como agregado reciclado, em projetos de pavimentação.

Norma NBR 15116 determina os critérios para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos gerados na construção civil.

No dia 2 de agosto de 2010, entrou em vigor a lei nº. 12.305 (BRASIL, 2010), que criou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) com o intuito principal de administrar de forma conjunta os resíduos sólidos no Brasil. De acordo com o artigo 9º da PNRS, em relação aos resíduos sólidos, deve-se dar prioridade à sequência a seguir: prevenção, diminuição, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e descarte final ambientalmente correto dos rejeitos (BRASIL, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) também define como Resíduos da Construção Civil (RCC) os resíduos gerados em obras de construção, incluindo preparo de terrenos (BRASIL, 2010). Conforme o artigo 20, item III, da PNRS, as empresas de construção civil são obrigadas a elaborar um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), de acordo com a regulamentação dos órgãos ambientais (GOIÁS, 2017). Por fim, o artigo 27 responsabiliza essas empresas pela execução e implantação do PGRS.

3.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

A quantidade de Resíduos da Construção Civil produzidos, sobretudo, em áreas urbanas tem sua origem nas práticas adotadas para lidar e descartar os resíduos provenientes da construção e demolição de edifícios civis, sendo os órgãos responsáveis pela regulamentação e fiscalização encarregados de oferecer incentivos ou aplicar medidas punitivas às empresas responsáveis, visando reduzir a produção de resíduos nos locais de construção e garantir a correta disposição em locais apropriados (BAKOSS; RAVINDRARAJAH, 1999).

De acordo com Santos (2013), a composição dos Resíduos da Construção Civil varia principalmente de acordo com o tipo de obra realizada, a localização geográfica, o período do ano avaliado, e outros fatores. Em novas construções, as empresas de construção são responsáveis por produzir entre 20 a 25% de todos os resíduos gerados no Brasil, sendo o restante proveniente de reformas e construções feitas de forma independente (TECHNE, 2001).

Conforme os dados mais recentes do censo demográfico divulgados pelo IBGE em 2010, o Brasil gerou em média 241.614 mil toneladas diárias de resíduo residencial. Esse resíduo apresentou uma composição média distribuída da seguinte forma: 55% de matéria orgânica, 25% de papel, 4% de metal, 3% de vidro, 3% de plástico e 10% de outros materiais. Além do resíduo doméstico, também são gerados outros tipos de resíduos, como os RCC.

Conforme Souza et. al. (2010), a presença de elementos como cimento, areia e brita em construções no Brasil é de extrema relevância, atingindo a marca de aproximadamente uma tonelada por metro quadrado construído. Esse cenário, por sua vez, resulta em significativas perdas e desperdícios ao longo do processo.

É necessário fazer a contagem dos resíduos a serem produzidos, além de armazená-los, transportá-los e enviá-los para locais adequados para reciclagem ou descarte. Todas essas tarefas devem ser responsabilidade do produtor, em conformidade com a resolução número 307 do CONAMA.

É evidente como a metodologia e o sistema construtivo influenciam diretamente na quantificação e qualificação da geração de RCD de um canteiro, podendo-se correlacionar os estudos de Freitas (2001), quanto à relação entre etapa de obra e provável geração de resíduos, conforme o artigo de Caetano (2016), que apresenta uma padronização das estimativas de especificações mínimas de materiais

a serem utilizados de acordo com cada fase ou atividade característica das construções de habitações sociais do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), apresentada no Quadro 2:

Quadro 2 - Especificações mínimas de materiais a serem utilizados na construção de habitações sociais

Características Gerais de Habitação	Especificações mínimas MCMV
Revestimento interno	Massa única, gesso (exceto banheiros, cozinhas ou áreas de serviço) ou concreto regularizado para pintura.
Revestimento externo	Massa única ou concreto regularizado para pintura.
Revestimento de áreas molhadas	Azulejo com altura mínima de 1,50m em todas as paredes do banheiro, cozinha e área de serviço.
Revestimento de áreas comuns	Massa única, gesso ou concreto regularizado para pintura.
Portas e ferragens	Portas internas em madeira. Admite-se porta metálica no acesso à umidade. Batente de aço ou madeira.
Janelas	Completa, de alumínio para regiões litorâneas ou meios agressivos e de aço para demais regiões.
Pisos	Cerâmica nas áreas molhadas, com rodapé, e desnível máximo de 15 mm. Cerâmica no hall e nas áreas de circulação internas. Cimentado alisado nos demais cômodos e escadas.
Pinturas	Paredes internas e tetos em tinta PVA. Paredes de áreas molhadas ou externas em tinta acrílica ou com textura impermeável.
Pias de cozinha	Bancada de 1,20m por 0,50m com cuba de granilite ou mármore sintético.
Torneiras	Em metal, cromadas, com acionamento por cruzeta ou alavanca.
Circuitos elétricos	Circuitos independentes para chuveiro, tomadas e iluminação.
Cobertura	Sobre laje, em telha cerâmica ou de fibrocimento (espessura mínima de 5 mm), com estrutura de madeira ou metálica.

Fonte: CAETANO, 2016.

3.3 IMPACTO AMBIENTAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A origem, a mistura de elementos e a categorização dos materiais provenientes de obras e demolições são temas frequentemente discutidos na literatura. Segundo Sáez (2014), a questão da dificuldade no tratamento dos resíduos de construção nos locais de trabalho não é algo recente e ainda representa um desafio

ambiental. No entanto, compreender a composição qualitativa e quantitativa desses resíduos é fundamental para melhorar sua gestão.

Os resíduos da construção civil são classificados como uma questão ambiental devido à sua alta produção, o que torna a destinação final um desafio, uma vez que apenas uma pequena parte das cidades do Brasil tem aterros e instalações de reciclagem. É possível concluir que a maioria desses resíduos é descartada de maneira inadequada. Esse descarte irregular causa danos ao meio ambiente, porém, a redução e a reutilização desses resíduos podem ajudar a diminuir o uso de recursos naturais e de energia, além de proporcionar economia com materiais.

Alguns dos principais exemplos desses impactos ambientais, pode se dar pelo desperdício geralmente associado ao mau aproveitamento de materiais e automaticamente no consumo de novos recursos naturais, como também, pode resultar na proliferação de vetores associado à disposição ou armazenamento inadequado dos resíduos no canteiro de obras, causando até mesmo acidentes de trabalho devido à desorganização do canteiro, falta de espaço, fluxo de pessoas e materiais.

3.4 ESTRUTURA DE PAREDE DE CONCRETO E GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A área da construção civil sofreu várias transformações com o passar dos anos. Os elementos que anteriormente eram apenas pedras, madeira, tijolos e telhas foram gradativamente sendo trocados e incluídos por novos materiais, como vidro, ferro fundido e mais tarde o concreto (COSTA, 2010).

Também é notável que nas últimas gerações houve um crescimento significativo da população nas áreas urbanas, o que resultou na expansão das cidades e na demanda por mais infraestrutura, aumento na produção, maiores gastos com energia e, como consequência, um aumento na geração de resíduos. A exploração intensiva dos recursos naturais para suportar a crescente industrialização e o aumento da população está causando impactos ambientais negativos, afetando a qualidade do ar, do solo e dos recursos hídricos (COSTA, 2010).

Neste momento, a indústria da construção no Brasil está passando por um período único, impulsionada pela alta procura por construções e pela crescente facilidade de acesso ao crédito por parte da população. Esse cenário favorável requer

das empresas construtoras uma maior atenção para a construção de obras de qualidade, feitas de acordo com normas técnicas reconhecidas, garantindo estruturas seguras, rapidez na execução e um design estético agradável (FERRAZ, 2018).

Existem diversos tipos de processos construtivos alternativos, estas podem ser convencional ou pré-moldadas, quando a fabricação ocorre dentro do canteiro de obras ou em uma usina, estando entre esses sistemas a alvenaria estrutural, *steel frame*, *Wood frame*, *drywall* e etc. Nesse contexto, foi analisado e considerado para este estudo o segundo caso, de paredes de concreto moldado *in loco* e sua reciclagem e reutilização, com base na gestão e gerenciamento, assim, necessário se faz a explicação básica desse processo construtivo.

Com base no artigo da Revista *Téchne* de 2009, pode-se afirmar que o uso de paredes de concreto moldadas no local é uma técnica construtiva eficiente que proporciona vantagens em termos de produtividade, qualidade e economia de escala, principalmente na resolução do problema do déficit habitacional. Esse sistema permite a construção de diversos tipos de imóveis, desde casas térreas até edifícios de vários pavimentos, com diferentes níveis de exigência estrutural.

Para Zúñiga, Santos e Silva (2017), o grande problema para que as construtoras trabalhem com o público de baixa renda é o lucro insatisfatório, assim, sistemas construtivos alternativos possuem como características, padronização, escala, redução de desperdício, e redução de tempo. Dessa forma, um método de construção racionalizado que oferece produtividade, qualidade e economia de escala quando o desafio é a redução do déficit habitacional, permitindo a construção de uma casa popular em 1 dia. Segundo Vieira, Silva e Goliaht, (2021) para atender e suprir a necessidade habitacional do Brasil seria necessário construir 1,2 milhão de habitações por ano, nesse ponto, a grande demanda do mercado forçou a procura de método inovadores e racionalizados, sendo necessário a construção de edifícios de vários pavimentos ou grandes quantidades de unidades em um curto espaço de tempo.

Como esse método construtivo é bem organizado, é de suma importância que o planejamento seja detalhado gerando uma maior qualidade na obra (AUZIER, GALVÃO, 2020). É de extrema importância a escolha da tipologia adequada para o detalhamento do projeto de fôrmas, podendo ser variados em tipo, materiais e tamanho diferentes, para garantia da qualidade do produto e viabilidade do próprio sistema de parede de concreto. No entanto, a NBR 16055:2012, acrescenta que, mesmo as formas de origem metálica, compensado ou material sintético, e plástico

recicláveis, se tratando da moldagem da estrutura, se faz necessário a realização de formas de uso para cada empreendimento de maneira exclusiva. Em contrapartida, se tratando de formas metálicas, o alumínio por ser mais leve e resistente, e o aço, são os tipos de materiais mais utilizados na fabricação de formas, onde mesmo sendo formas mais caras que outros materiais, como madeira e plástico, sua vantagem se encontra no seu reuso, podendo ser reaproveitados aproximadamente 100 vezes.

De acordo com a norma NBR 16055 (2012), as quantidades de cimento e concreto, ou seja, as relações entre essas combinações são essenciais para a produção de um material de excelência, sendo padronizadas. O concreto mais indicado e utilizado para esse sistema é o concreto auto adensável, que possui como característica vantagens em relação a sua fluidez, o que facilita o trabalho, concretagem e dificuldade de segregação do concreto. O mesmo pode ser produzido na obra ou empresas de concretagem, desde que atenda as exigências de resistência a compressão para desformar de acordo com o ciclo de concretagem, atingindo resistência de compressão nos 28 dias e trabalhabilidade com teste de espaçamento, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Teste de espaçamento concreto

Tipo	Concreto	Massa específica (kg/m³)	Resistência mínima à compressão (MPa)	Tipologia usualmente utilizada
L1	Celular	1500-1600	4	Casa até 2 pavimentos
L2	Com agregado leve	1500-1800	20	Qualquer tipologia
M	Com alto teor de ar incorporado	1900-2000	6	Casa até 2 pavimentos
N	Convencional ou Auto adensável	2000-2800	20	Qualquer tipologia

Fonte: ABCP, 2010.

Tenório e Espinosa (2004) consideram que o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos é um conjunto de ações normativas, financeiras, de operação e planejamento que, com base em especificações sanitárias, ambientais e econômicas, a administração do município as desenvolve para coletar e dispor seus resíduos. O Art. 23 da Constituição Federal (BRASIL, 1988) atribui aos órgãos municipais de gestão ambiental a responsabilidade de elaborar e implementar a política local de meio ambiente, atuando de forma conjunta com a esfera estadual e inicial.

A Resolução Conama nº 307/2002 designa aos municípios a função de determinar o volume de RCD que estabelecerá a diferença entre pequenos e grandes

geradores. No caso dos pequenos geradores, o gerenciamento dos resíduos de construção e demolição fica a cargo do município. Porém, quando tratamos de grandes geradores, estes são os responsáveis pelos resíduos desde a geração até a destinação final, e o órgão municipal deve regulamentar as ações dos agentes geradores a partir de seus Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC). No caso dos grandes geradores, o Art. 8º da Resolução Conama nº 307/2002 estabelece que:

Os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil serão elaborados e implementados pelos grandes geradores e terão como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) é o órgão do governo paulista responsável pela regulamentação, supervisão, vigilância e concessão de licenças para atividades produtoras de resíduos, com o objetivo de proteger e recuperar a qualidade dos recursos hídricos, do ar e do solo. No que diz respeito aos resíduos provenientes da construção civil, a CETESB disponibiliza diversas informações sobre locais de descarte, por meio de seu Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos - SIGOR. No Quadro 3, são detalhados diferentes pontos de descarte e seus respectivos registros e autorizações.

Quadro 3 - Áreas de destinação, e suas respectivas descrições e licenciamentos

(continua)

Área de Destinação	Descrição	Licenciamento
ATT – Área de Transbordo e Triagem de RCC e volumosos	Destinada ao recebimento de resíduos de construção civil e de resíduos sólidos volumosos para triagem, armazenamento e posterior remoção para a destinação final.	Prefeitura do Município em que se localiza.
Ecoponto ou PEV – Ponto de Entrega Voluntária	Destinada à entrega voluntária de pequenas quantidades de resíduos de construção civil, resíduos volumosos e resíduos de coleta seletiva para transbordo e triagem. Faz parte do sistema público de limpeza urbana de coleta seletiva para transbordo.	Prefeitura do Município em que se localiza.
Aterro de resíduo perigoso – Classe I	Área tecnicamente adequada para disposição de resíduos perigosos Classe I.	Licença ambiental para instalação e operação junto à Cetesb e Sigor.

Quadro 3 - Áreas de destinação, e suas respectivas descrições e licenciamentos

Área de Destinação	Descrição	Licenciamento
Incinerador	Local tecnicamente adequado para o tratamento de resíduos de alta periculosidade, ou que necessitam de destruição completa e segura.	Licença ambiental para instalação e operação junto à Cetesb e cadastramento no SIGOR como destino.

Fonte: CETESB, 2020.

Também existem as usinas de reciclagem - local onde é realizada a transformação de resíduos em matérias-primas, como papéis, alumínio, plásticos, vidros, entre outros. A coleta desses materiais é feita por cooperativas de catadores ou empresas especializadas, que vendem os materiais às usinas. Após o recebimento, é realizada a triagem, onde os resíduos são separados para que possam passar pelo processo de reciclagem. Em seguida, é feita a compactação, e assim, os materiais já podem ser vendidos às empresas que utilizam estes materiais para a confecção de seus produtos.

Perina (2014), apontou vantagens para a implementação de um gerenciamento de RCD eficiente nos canteiros de obras, destacando a diminuição de custos com limpeza urbana, advindos do município; conservação de aterros; proteção do meio ambiente; aumento da limpeza urbana e, conseqüentemente, aumento da qualidade de vida no ambiente urbano e redução na geração de RCD. Costa (2006) destacou diversos aspectos que podem ser determinantes para o sucesso da reciclagem de RCD, entre eles:

- Fatores sociais: se referem ao crescimento e densidade populacional, nível de educação e consciência ambiental, que influenciam as necessidades de infraestrutura, gestão adequada de resíduos, além de mudança de postura da população com relação à prática de reciclagem.
- Fatores econômicos: considerando a perspectiva de uma economia crescente e saudável, a reciclagem se mostra como um fator importante.
- Fatores político-legais: a reciclagem permite aos empreendimentos estarem devidamente regulamentados ambientalmente, motivados pela

fiscalização e a obterem incentivos financeiros, sendo estes, aspectos importantes e que qualificam um programa de reciclagem.

- Fatores técnico-gerenciais: a reciclagem condiciona a caracterização e quantificação das diferentes classes de RCD, do estoque dos edifícios, das distâncias de matéria-prima virgem, comercialização de resíduos, números de aterros, entre outros. É preciso considerar que os aspectos de gestão de RCD estão relacionados às entidades governamentais e outros órgãos que envolvem o tema de reciclagem.

3.5 EFEITOS SOCIOAMBIENTAIS DOS RCDs

De acordo com Pablos (2012), os resíduos provenientes de obras na indústria da construção têm um impacto significativo e prejudicial. Os efeitos resultantes de sua eliminação são percebidos na qualidade da água, do ar e do solo, tornando essencial a busca por soluções rápidas e efetivas em conjunto com a manutenção e qualidade dos materiais. No Brasil, as políticas públicas que abordam os Resíduos de Construção Civil (RCC) têm como objetivo incentivar as empresas que produzem resíduos a adotarem uma nova abordagem na gestão, implementando ações capazes de reduzir a quantidade de resíduos gerados.

Sob uma análise econômica e social, a indústria da construção é considerada fundamental, uma vez que representa mais de 10% do Produto Interno Bruto (PIB) do país (PABLOS; SICHERI, 2010). De modo geral, a qualidade de vida nos centros urbanos e nas áreas rurais está diretamente ligada ao processo de saneamento, que envolve o fornecimento de água, tratamento de esgoto, controle de enchentes e gestão de resíduos sólidos. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), adotados na septuagésima Assembleia Geral das Nações Unidas com base na Conferência Rio-92, fazem parte de uma agenda global para o desenvolvimento sustentável.

Para atender aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos na septuagésima Assembleia Geral da ONU após a Conferência Rio-92, que integram uma agenda mundial de sustentabilidade, e destacados no guia de Engenharia e Sustentabilidade (2018), a falta de utilização e aprimoramento de métodos e tecnologias por parte de profissionais como engenheiros, tecnólogos e

técnicos está diretamente ligada a diversos desafios relacionados à urbanização e qualidade de vida.

A Agenda 21 surgiu como uma das consequências mais significativas da Conferência Rio-92. Elaborado a partir de um consenso entre 179 nações, o documento ressalta a urgência e relevância de cada país assumir o compromisso de analisar, em âmbito global e local, como governos, empresas, organizações e demais segmentos sociais poderiam colaborar na busca por soluções aos desafios socioambientais (LORDÊLO, 2007, p.36).

A partir deste encontro, foi possível compreender de maneira mais clara a interligação entre o progresso e um ambiente ecologicamente equilibrado, com a preservação dos recursos para as próximas gerações. (MOURA, 1998). Diante dos Resíduos de Construção e Demolição encontrados na área da construção civil, nos processos de produção e realização de obras, foram identificadas leis que determinam a maneira como devem ser descartados, sendo bastante rigorosas em relação ao nível de qualidade esperado (GONÇALVES, 2001).

Mattos (2014) discute em sua pesquisa aspectos que devem ser levados em conta na hora de reutilizar resíduos, como os custos envolvidos na reciclagem, tipos de equipamentos necessários, espaço necessário para a reciclagem, custos dos materiais naturais, custos de remoção de resíduos, entre outros. Assim, a decisão de reciclar resíduos em locais de construção deve ser tomada apenas após uma análise minuciosa desses fatores, juntamente com uma avaliação da viabilidade econômica e financeira. (MATTOS, 2014). A ação que causa menor impacto ambiental e possui o melhor retorno econômico, é a diminuição da geração de resíduos e a importância da adoção das práticas de reutilização e de reciclagem para os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis, bem como, a compostagem para os resíduos orgânicos e a incineração, para determinados rejeitos, sendo a última alternativa o aterramento dos rejeitos.

A prática da reciclagem é vista como uma das possibilidades mais benéficas na tratativa de RCD, do ponto de vista socioambiental, considerando que ela reduz o consumo de recursos naturais, diminui o consumo de água e energia, reduz o volume de rejeitos e pode gerar empregos. O termo “reciclagem” pode ser definido como reaproveitamento de resíduos descartados da construção civil, utilizando-se de técnicas e processos transformadores que possibilitam a reintrodução no ciclo produtivo (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020).

Segundo Grigoli (2001), existem diversas formas de utilizar os agregados reciclados provenientes de Resíduos de Construção e Demolição de Classe A, tais como: produção de argamassa para fixação de batentes; aplicação em instalação de portas e/ou janelas; preenchimento de buracos em paredes; fixação de tubulações elétricas e hidráulicas; assentamento de blocos de cerâmica; fixação de caixas elétricas; e embelezamento de tubulações.

3.6 RECICLAGEM DE AGREGADO NO BRASIL

Segundo Miranda *et al.* (2016), a reciclagem de RCC vem crescendo nos últimos anos devido ao aumento expressivo na geração de RCC aliado a novas políticas públicas relacionadas ao incentivo da reciclagem nos diversos estados brasileiros. Tal fato ocorreu de forma mais expressiva após a publicação da resolução 307 do CONAMA de 2002. De acordo com os autores, as primeiras usinas de reciclagem de RCC brasileiras foram instaladas nos municípios de São Paulo (1991), Londrina (1993) e Belo Horizonte (1994).

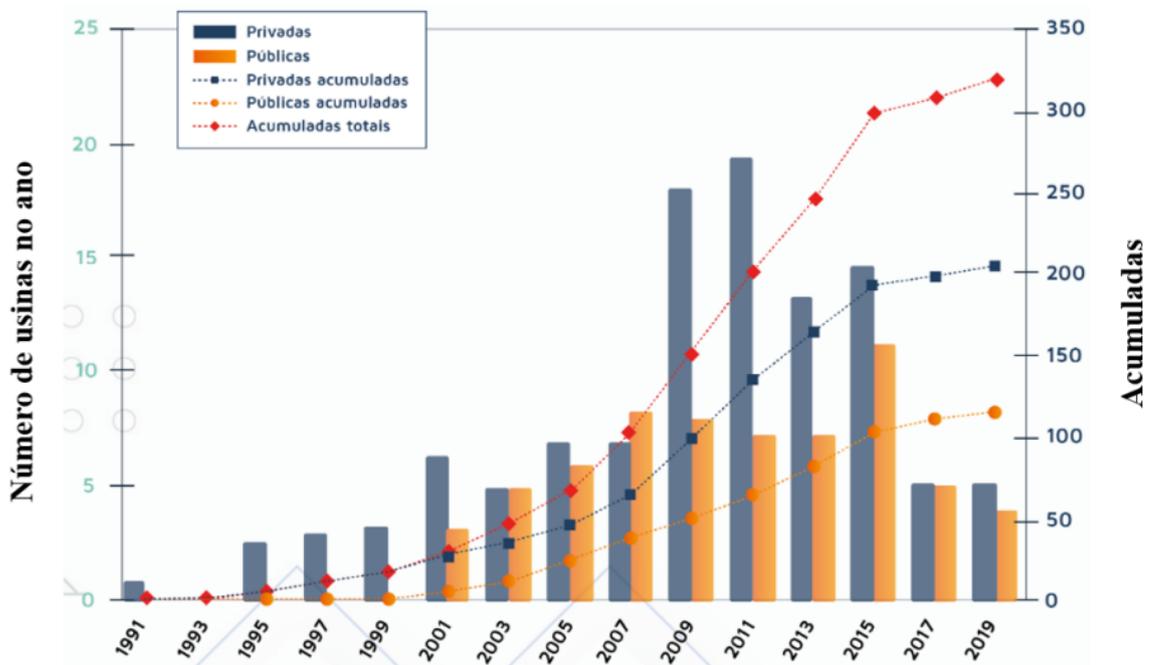
Segundo Miranda *et al.* (2009), no ano de 2008 foram identificadas 47 usinas de reciclagem de entulho. Destas, 24 eram públicas (51%) e 23 privadas (49%).

Conforme indicado por um levantamento realizado no ano de 2002, havia 16 usinas de reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (RCD) em operação. Após a publicação da resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), houve um aumento na instalação dessas usinas, com uma média de três novas unidades por ano (MIRANDA, L.F.R, *et. al.*, 2009).

Ao longo dos anos, observou-se uma evolução tecnológica significativa nas usinas de reciclagem no Brasil Figura 1. De acordo com um levantamento realizado pela Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (Abrecon) em 2020, a primeira geração de usinas, instaladas até o ano de 2002, operava em um ambiente de negócios com regulamentação limitada, predominância de usinas públicas de reciclagem, produção modesta e escassos instrumentos de operação. A ênfase era dada à aquisição de britadores, com pouca atenção dedicada às demais operações do processo. No período de 2002 a 2010, emergiram novas gerações de usinas, caracterizadas pela participação crescente da iniciativa privada. A partir de 2010, observou-se a disseminação de usinas móveis e híbridas (que combinam usina fixa com móvel), a introdução de operações de

processamento adicionais em áreas de transbordo e triagem, e a entrada de usinas de grande porte, dotadas de maior aporte tecnológico. Isso inclui projetos de mesas de triagem, sistemas de peneiras rotativas, remoção de impurezas leves por aeroclassificador, lavagem e diversificação de rotas de produtos. Conseqüentemente, a descontaminação do material ganhou relevância, resultando em um controle mais efetivo da produção (instrumentação) e em uma maior diversidade e qualidade dos produtos obtidos. Isso se deve ao desenvolvimento do mercado de agregados reciclados.

Figura 1 - Usinas de reciclagem e entulho.



Fonte: ABRECON, 2020.

De acordo com dados publicados por Miranda et al. (2016), um levantamento apoiado pela Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON) revelou que, em 2015, aproximadamente 310 empresas estavam envolvidas no ramo de reciclagem de RCC no Brasil. O estudo apontou que, no ano anterior, o país produziu cerca de 84.180.696 m³ de RCC, porém somente 21% desse volume foi de fato reciclado pelas empresas especializadas. Apesar das recicladoras possuírem uma capacidade de produção expressiva, constatou-se que, na prática, elas utilizaram apenas 46% dessa capacidade, enfrentando problemas como falhas em equipamentos, condições climáticas adversas, escassez de matéria-prima e baixa demanda por agregados reciclados.

A ABRECON ressalta que incluir materiais reciclados em obras de pavimentação está se tornando uma prática cada vez mais frequente nas cidades. Segundo a entidade, 56% dos municípios avaliados possuem um plano para gerenciar resíduos sólidos e, desses, 36% consideram o uso de materiais reciclados em diversas etapas da pavimentação como uma prioridade em projetos públicos.

Conforme Souza *et. al.* (2010) relatam, em localidades onde o sistema de reutilização já está estabelecido, são geradas quantidades significativas de material reciclado, aplicadas em funções essenciais como camadas primárias de estradas, bases de asfalto, sistemas de escoamento e prevenção da erosão. De maneira específica na região metropolitana de São Paulo, por exemplo, o decreto de número 48.075, emitido em 28 de dezembro de 2006, determinou o uso necessário de materiais reciclados, originados da área da construção civil, em projetos e serviços de pavimentação das vias públicas locais.

Em meio a um cenário de crise econômica, observou-se um crescimento na capacidade máxima de produção das usinas brasileiras até o ano de 2018. Este crescimento culminou na capacidade de processar aproximadamente 45% de todos os Resíduos da Construção Civil e Demolição (RCD) gerados no país, o que corresponde a cerca de 45 milhões de toneladas por ano (Abrecon, 2020).

Apesar do aumento significativo no número de usinas após a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2002), a produção efetiva de agregados reciclados tem se mantido abaixo da capacidade produtiva máxima. Ao longo desses anos, a produção manteve-se relativamente constante, não ultrapassando a marca de 20 milhões de toneladas por ano. Isso significa que as usinas têm operado a menos de 50% de sua capacidade.

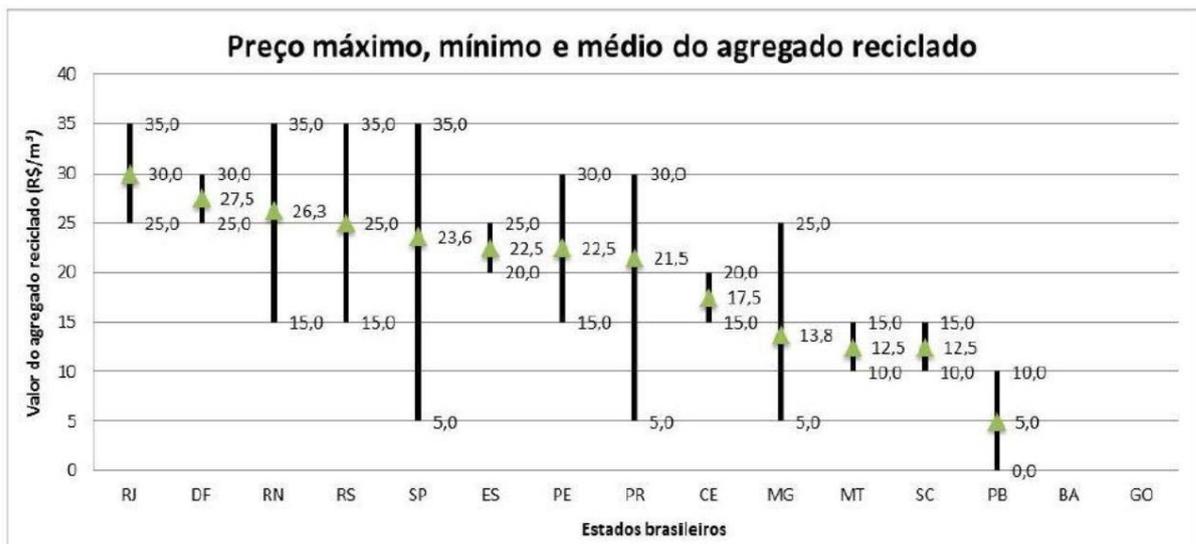
No entanto, mesmo neste cenário, as condições de operação foram suficientes para alcançar índices de reciclagem nacionais na ordem de 15%. Este índice é calculado com base no volume de agregado reciclado dividido pelo volume de RCD gerado. Pode-se observar na Tabela 2: todo o RCD produzido, 15% foi efetivamente reciclado e reutilizado na produção de concreto. Este é um marco significativo, pois demonstra o potencial da reciclagem na indústria da construção civil. No entanto, ainda há um longo caminho a percorrer para aumentar este índice e tornar a indústria da construção mais sustentável.

Tabela 2 - Índices de reciclagem de RCD e capacidade produtiva

Índice	2013	2014/2015	2017/2018	2019/2020
Geração de resíduo anual (t)	100.516.000	102.225.000	103.830.000	105.073.500
Produção de AR extrapolada (t/ano)	19.830.064,50	20.712.000,00	15.679.980,00	16.944.692,00
Índice de reciclagem (AR produzido/RC gerado) – extrapolado	19,7%	20,3%	15,1%	16,1%
Capacidade máxima de produção de AR - extrapolada (t/ano)	42.191.626,60	46.026.666,67	44.799.942,86	50.487.520,00
Capacidade máxima de reciclagem (Cap. Máx./Geração RCD) - extrapolada	42,0%	45,0%	43,1%	48,0%

Fonte: ABRECON, 2020.

Para a comercialização do agregado, os valores variaram de 5 a 35 reais por m³ com maior concentração entre 20 a 30 reais por m³ (Figura 2). Estudos realizados por Miranda *et al.* (2009) indicam valores iguais a R\$ 21,00/m³ para os reciclados contra R\$ 35,00/m³ dos agregados naturais.

Figura 2 - Preço de venda de agregados no Brasil

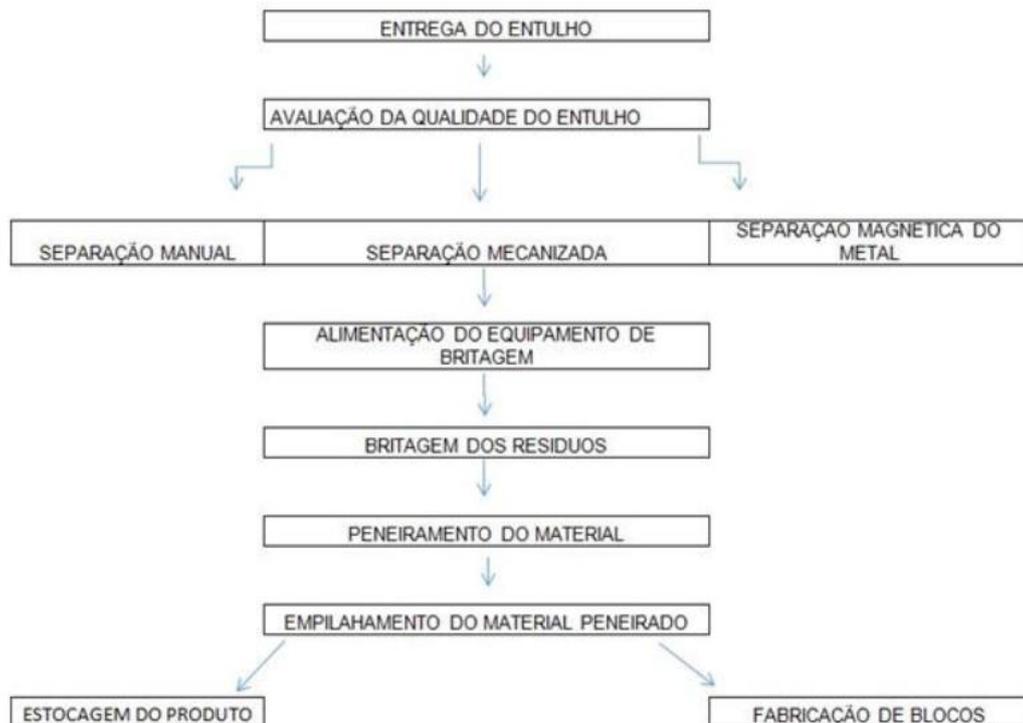
Fonte: MIRANDA, 2020.

Durante uma pesquisa em uma empresa que recicla resíduos de construção civil localizada em Aparecida de Goiânia, Sacho (2015) identificou que a brita

graduada simples, principal produto comercializado pela empresa, possui um valor médio de R\$ 30,00/m³ - mesmo valor encontrado por Miranda et al. (2016) - enquanto os agregados naturais vendidos na região variam entre R\$ 26,70 e R\$ 28,50/m³.

De acordo com informações do SEBRAE (2012), uma empresa de reciclagem de pequeno porte possui uma equipe composta por 1 engenheiro civil, 1 recepcionista, 1 vigilante, 5 auxiliares de separação, 2 seguranças, 1 operador de máquina de britagem, 1 operador de equipamento, 1 auxiliar de manutenção. Os equipamentos essenciais incluem: alimentadores; britadeiras; máquinas de impacto; peneiras e transportadores de correia; lavadores; quebradores hidráulicos; tesouras trituradoras; pulverizadores, bem como pá carregadeira ou retroescavadeira (SEBRAE, 2012). O procedimento em si envolve os passos representados na Figura 3.

Figura 3 - Processo de reciclagem de RCC



Fonte: SEBRAE, 2017.

3.7 UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Com o objetivo de otimizar o uso dos agregados reciclados na construção civil e, por consequência, a viabilidade de adquirir produtos que contenham esses agregados em sua composição, diversos estudos estão sendo realizados nesse

sentido. Um exemplo disso são as pesquisas que buscam a utilização de RCDs em grandes rodovias americanas, como a de Michigan, nos EUA. Nesse caso específico, a história dessa rodovia mostra que a utilização de agregados reciclados da própria região durante sua construção foi fundamental, tornando-se a primeira rodovia de grande porte a utilizar matéria-prima reciclada nessa fase de obra (MEHTA, 1994, p.4).

A reutilização de materiais de construção tem sido uma prática antiga, visto que os romanos utilizavam tijolos, telhas e louça cerâmica moída como pozolanas. No entanto, foram os grandes desastres deste século, como terremotos e guerras, que contribuíram para a adoção do uso de materiais reciclados.

É possível aproveitar os agregados reciclados em diferentes atividades de engenharia, como por exemplo em camadas de drenagem, na base para instalação de tubos ou guias e no revestimento de galerias, além de serem úteis na estabilização de solos expansíveis ou com pouca capacidade de suporte (BRITO FILHO, 1999).

3.8 REUSO DO AGREGADO CONVENCIONAL A PARTIR DO CONCRETO FRESCO

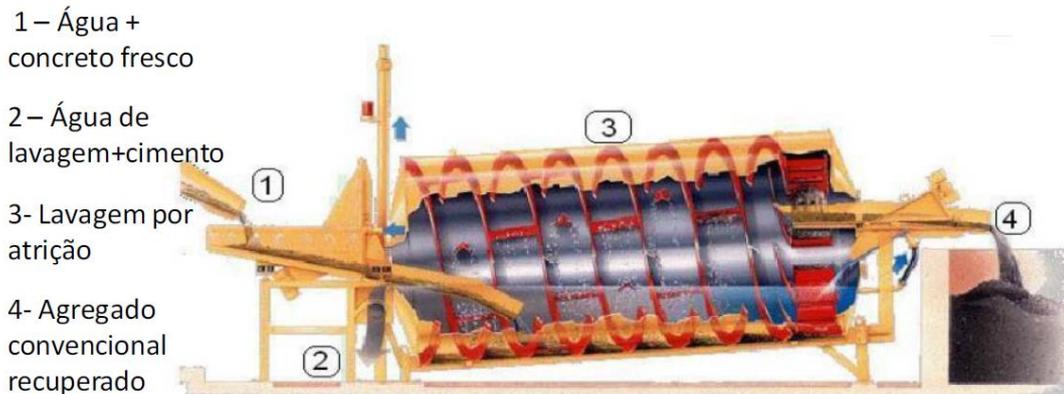
Os agregados reciclados miúdos não costumam ser indicados para a fabricação de novos concretos, pois possuem várias desvantagens. O Comitê Técnico RILEM TC 121-DRG (1994) ressalta que os agregados reciclados menores muitas vezes contêm uma quantidade significativa de substâncias contaminantes (BAZUCO, 1999, p.14).

O cimento com agregados reciclados é feito a partir de restos britados, utilizados para substituir total ou parcialmente os agregados tradicionais. Enquanto os agregados convencionais, provenientes de rochas britadas, seixos e areias lavadas de rios, são pouco porosos, a força e durabilidade do cimento convencional são determinadas principalmente pela porosidade da pasta de cimento.

De acordo com Stetter (2003), a principal origem de resíduos que deve ser considerada para viabilizar a utilização de material reciclado como agregado é a própria produção de concreto. O agregado convencional pode ser reaproveitado quando o concreto retorna à central ainda fresco (sem ter endurecido) conforme demonstrado na Figura 4. A pasta de cimento não hidratada é lavada com água e sofre fricção em um tambor. Assim, ao término do processo, obtém-se o agregado

convencional e uma água de lavagem (que geralmente contém partículas finas de cimento e aditivos em suspensão).

Figura 4 - Equipamento para reuso do agregado convencional, partir do concreto fresco



Fonte: SWING STETTER, 2000.

A norma ABNT NBR 12655:2006 possibilita a recuperação dos agregados tradicionais (como quartzo e granito) do concreto fresco através da lavagem, mantendo a qualidade destes para serem utilizados em novas misturas de concreto. De acordo com esta norma, os agregados recuperados que não foram separados por granulometria podem representar menos de 5% do total de agregados no concreto. Somente quando estes agregados forem classificados e separados em diferentes frações, atendendo aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 7211:2009, é que poderão ser utilizados em quantidade superior a 5% no novo concreto. Embora muitas centrais dosadoras de concreto possuam tal equipamento, atualmente ele tende a não ser mais utilizado. O valor da água tem aumentado progressivamente com o passar do tempo e a utilização do equipamento acarreta em gastos operacionais mais altos (ANGULO, Sergio Cirelli; FIGUEIREDO, Antonio D., 2011).

As características de absorção de água em um agregado segundo Gonçalves (2001), influencia muito o grau de trabalhabilidade na massa fresca do concreto. Como o agregado reciclado possui uma maior absorção conforme pode-se observar na Tabela 3, quando comparado com o material natural, ao ser utilizada uma mesma quantidade de água em duas dosagens, que somente se diferenciem pelo tipo de agregado usado, certamente a que teve a fração do material reciclado será mais seca.

Tabela 3 – Absorção de água e índice de vazios

Propriedade	Índice de vazios – NBR 9778/87	Absorção de água NBR – 9937/87	
		30 min	24 horas
Agregado natural	5,5%	1,4%	1,9%
Agregado reciclado	12,3%	4,4%	4,9%
Relação agregado reciclado/agregado natural	2,24	3,14	2,58

Fonte: GONÇALVES, 2001.

O agregado natural corresponde à fase da estrutura do concreto com a maior densidade, resultando em um índice de poros reduzido. A porosidade de um concreto é influenciada pelas características da matriz de argamassa, que contém vazios capilares. Por outro lado, os agregados reciclados, devido à presença de uma quantidade significativa de argamassa, apresentam maior absorção de água em comparação com os agregados naturais. Essa diferença pode ser observada nos resultados obtidos na pesquisa de Van Acker (1996), conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Relação da propriedade do concreto reciclado

Dosagem	Res. Compressão 28 dias (MPa)	Retração (nm)	Módulo de Elasticidade	Absorção de Água
0% de agregados reciclados	1	1	1	1
5% de agregado reciclado	0,90	1,12	0,95	0,98
10% de agregado graúdo reciclado	1,05	1,15	0,95	1,08
10% de agregado miúdo reciclado	0,92	1,12	0,95	1,19
10% de agregado miúdo e graúdo reciclados	0,98	0,91	0,93	1,15
10% de agregado miúdo reciclado	0,93	-	-	-
25% de agregado miúdo e graúdo reciclados	0,83	1,03	0,87	1,35

Fonte: VAN ACKER, 1996.

O concreto com agregado reciclado aumenta a quantidade de água necessária para limpar o material agregado, exigindo um controle de qualidade preciso para sua reutilização no preparo do concreto fresco. Somente recentemente uma norma técnica brasileira abordou essa questão, a ABNT NBR 15900:2009, composta por 11 partes, estabelecendo os padrões para a água utilizada na mistura do concreto, permitindo o uso de água recuperada do processo de preparação ou

operações semelhantes em novas construções. A presença de diferentes aditivos em concentrações variadas representa um desafio adicional, podendo impactar no tempo de endurecimento do concreto reciclado, entre outras características (ANGULO, Sergio Cirelli; FIGUEIREDO, Antonio D., 2011).

Por último, a lama endurecida de cimento possui um pH próximo de 12, caracterizando-se como um resíduo altamente básico. Devido a isso, é considerado um resíduo não inerte (Classe IIb, conforme a norma NBR 10004:2004) e não possui opções de reciclagem viáveis atualmente. Geralmente, é encaminhado para aterros sanitários em grandes cidades, onde os custos de disposição são elevados.

Portanto, uma opção viável tem sido permitir que endureça nos depósitos das usinas de dosagem como um resíduo sólido e reutilizá-lo (ANGULO, Sergio Cirelli; FIGUEIREDO, Antonio D., 2011). Sem a necessidade de britagem, ele pode ser utilizado como material geotécnico para reabilitar as áreas degradadas, como já mencionado. Utilizando britadores, é possível reciclá-lo como agregados para concreto, como será explicado mais adiante.

3.9 RECICLAGEM DO RCD POR BRITAGEM

Conforme Motta (2005), a quebra pode ser realizada por uma variedade de máquinas, que podem ser as mesmas ou terem sido adaptadas das utilizadas na mineração. O método de quebra pode afetar diversas características dos agregados reciclados, como tamanho, formato e resistência. O triturador de impacto é um dos tipos mais comuns em instalações de reciclagem. (LIMA, 1999).

No processo de reciclagem de resíduos da construção civil, são empregadas diversas etapas da Engenharia de Minas com o objetivo de (CHAVES et al., 2006):

- Separar e fragmentar preliminarmente as peças de concreto armado de grandes dimensões, antes da alimentação no britador;
- Eliminar fragmentos grandes de materiais indesejáveis (madeira, aço, papel) ou contaminantes (gesso, cimento amianto) por triagem;
- Cominuir (britar ou moer) o fragmento de RCD como agregado, com ou sem tratamento térmico preliminar;
- Remover a fração metálica ferrosa e pequenos fragmentos de materiais indesejáveis leves (papel, madeira, etc.) remanescentes dos agregados de RCD, melhorando a sua pureza; e

- Remover as partículas porosas de cerâmica vermelha, quando se deseja produzir agregado de RCD de alta qualidade.

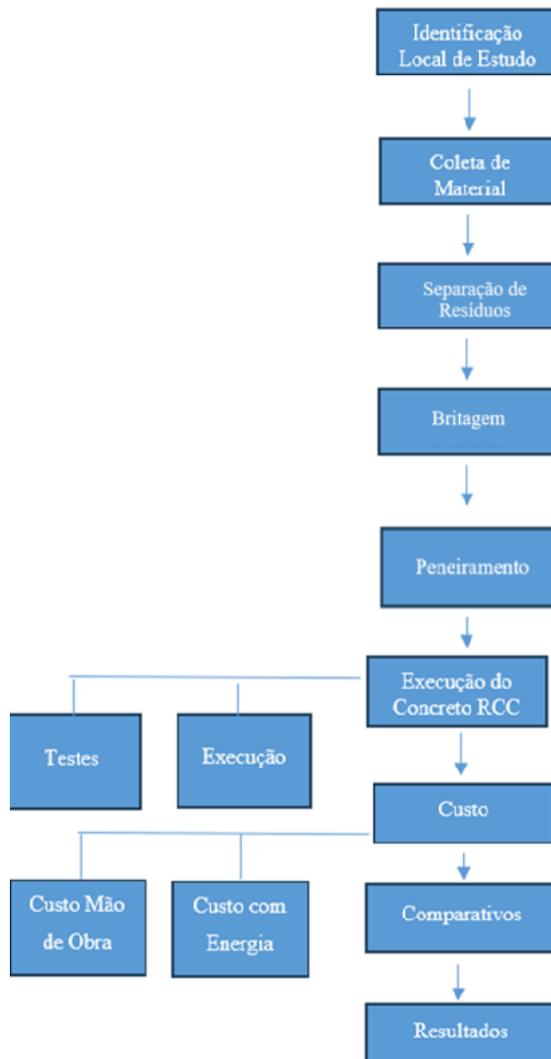
Os equipamentos móveis são empregados especialmente quando se almeja diminuir a distância de deslocamento entre o processamento e a utilização. No território nacional, as unidades de reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) devem ser instaladas seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR 15114:2004. É importante ressaltar a importância do sistema de escoamento e do monitoramento de emissões sonoras e agentes poluentes na atmosfera.

É de extrema importância o controle da emissão de material particulado em uma usina de reciclagem de RCD, especialmente durante as operações de alimentação, britagem e peneiramento (SANTOS; PINTO, 2008). Nestas áreas, a presença de sílica em suspensão pode exceder os limites permitidos pela NR 15 do Ministério do Trabalho, exigindo a instalação de abatedores de poeira, vedação dos transportadores de peneira e instalação de coletores de pó nas máquinas de britagem e peneiramento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Visando alcançar os objetivos propostos pelo estudo foi determinada uma sequência metodológica, dividindo-se em etapas os processos para a obtenção dos resultados do trabalho. As etapas para realização do trabalho são apresentadas no fluxograma abaixo, na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma das etapas de realização do trabalho



Fonte: Autor, 2023.

4.1 LOCAL DA OBRA EM ESTUDO

Para o desenvolvimento do estudo, a obra visitada está localizada na cidade de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, sendo composta por 1.043 unidades de casas (do programa do governo “Minha Casa Minha Vida”, dados estes obtidos do projeto arquitetônico, sendo 1.011 unidades casas com 44,16 m² (unidades principais), e, 32 unidades casas com 50,92 m², tendo área total do terreno 578.486,00 m² e área total construída 46.275,20 m². Os dados estão descritos com maiores detalhes na Tabela 5.

Tabela 5 – Informações relacionadas ao local da obra de estudo

Item	Especificação	Área (m ²)	%
1	Total do terreno a construir	578.486,00	100,00
2	Casas tipo I – 1.011 unidades		
2.1	Principal	41,19	
2.1.1	Área de serviço	2,87	
2.1.2	Total casa	44,16	
2.1.3	Casas tipo I (44,16 m ² X 1.011)	44.645,76	7,72
2.1.4	Casas tipo II – 32 unidades		
2.2	Principal	47,10	
2.2.1	Área de serviço	3,82	
2.2.2	Total casa	50,92	
2.2.3	Casas tipo II (50,92 m ² X 32)	1.629,44	0,28
2.2.4	Área total construída	46.275,20	8,00
2.3	Total de áreas públicas	392.575,52	67,86
3	Sistema viário	144.517,71	24,98
3.1	Área institucional	28.925,97	5,00
3.2	Espaço livre de uso público	219.131,84	37,88
3.3	Áreas verdes	118.875,60	20,55
3.3.1	Sistemas de lazer	100.256,24	17,33

Fonte: Autor, 2023.

O empreendimento escolhido foi executado em parede de concreto. Para entendimento da viabilização desse empreendimento para estudo, pode-se notar na Figura 6 a grandeza do projeto já executado em parede de concreto, com uma imagem aérea capturada por este autor. Convém mencionar e ressaltar que ele se encaixa em

todos os quesitos deste estudo, afinal, o empreendimento foi executado em parede de concreto com a média de 16 m³ por casa de concreto, com uma média execução de quatro unidades de casas concretadas por dia, sendo assim uma média de 64 m³ de concreto FCK20 por dia. A obra teve *in loco* uma usina móvel para atender toda a demanda. É o que demonstra na coleta de dados, representado na Tabela 6, com a quantidade total de unidades e o valor em m³ do concreto utilizado para parede em estrutura de concreto.

Figura 6 - Foto feita com drone no empreendimento em obra de Ribeirão Preto



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 6 - Referência de m³ concreto para estrutura de parede usado na obra e dias de concretagem

Concretagem	
1043	Unidades
16	m ³
16688	m ³ total obra
4	unidades/dia
260,75	dias de concretagem

Fonte: Autor, 2023.

Conforme mencionado a grandeza do empreendimento é evidente na Figura 6, que ilustra a quantidade de unidades produzidas. Esta representação gráfica destaca o potencial significativo que o empreendimento poderia ter tido para contribuir

para a sustentabilidade ambiental. A imagem serve como um lembrete visual do impacto que tais iniciativas podem ter na preservação do nosso meio ambiente.

A base desse estudo veio por meio da qual, mesmo que a empresa seja destaque hoje no ESG (*Environmental, Social and Governance*) não existe uma política interna de realização da segregação *in loco* e reutilização e reciclagem desse material para funções menores. O estudo propõe que haja uma análise crítica e clara de que existem oportunidades para o bem do meio ambiente e economicamente para empresa.

4.2 COLETA E PREPARAÇÃO DO RCC PARA O ESTUDO

O agregado reciclado foi obtido a partir do concreto com agregados naturais produzido na obra para as paredes de concreto, que foi britado manualmente, por motivo da falta de um britador mecânico. Também houve auxílio de ferramentas simples de construção, como marretas de 10 kg. Para calcular a quantidade de material, foram usados alguns valores da pesquisa bibliográfica (TENÓRIO, 2007), validados com um teste experimental.

Foram coletadas várias amostras no local da obra. O objetivo principal dessa coleta era realizar testes na execução da britagem do material de Resíduos da Construção Civil (RCC). Este procedimento é uma parte crucial do processo, pois permite uma análise detalhada da composição e qualidade do RCC.

As Figuras 7, 8, 9 e 10 ilustram claramente este processo. Nestas imagens, é possível observar diferentes tipos de resíduos que foram coletados para análise. Entre eles, estão os resíduos provenientes de corpos de prova, que são essenciais para testar a resistência e a durabilidade do material. Além disso, também foram coletados resíduos resultantes da limpeza da bica do caminhão de concreto.

Portanto, a coleta e análise dessas amostras desempenham um papel fundamental na avaliação da eficácia dos processos de reciclagem e na garantia de que os materiais reciclados atendam aos padrões de qualidade necessários. Isso, por sua vez, contribui para a sustentabilidade e eficiência do setor da construção civil.

Figura 7 - Resíduos de corpos de prova coletados na obra



Fonte: Autor, 2023.

Figura 8 - Material coletado RCC comum CLASSE A



Fonte: Autor, 2023.

Figura 9 - Material descartado após concretagem



Fonte: Autor, 2023.

Figura 10 - Material coletado: Concreto usinado resto de concretagem



Fonte: Autor, 2023.

4.3 OBTENÇÃO DOS CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS

O cálculo da mistura do concreto levou em consideração análises anteriores (TENÓRIO, 2007) que resultaram na produção de concretos utilizando agregados reciclados e naturais, com densidade reduzida. Com base nesses estudos, a mistura de referência foi ajustada para se adequar aos diferentes materiais utilizados neste projeto, com o objetivo de alcançar um concreto mais leve. Neste estudo seguiram-se as orientações encontrada no trabalho dos pesquisadores Hansen e Narud (1983) e Abourizk e Rashwan (1997) onde demonstram a absorção da água de um agregado natural para um agregado de reciclado em uma mistura de concreto, onde o natural absorve a água em 74% no primeiro minuto da mistura, já o agregado reciclado absorve em 90% a água nos primeiros minutos da mistura. Sendo assim foi adotado o valor de 20% a mais de água para a mistura do concreto com agregado reciclado para o mesmo ter a trabalhabilidade de um agregado natural em sua mistura.

Além disso, é importante destacar que Sganderla (2015) identificou em seu estudo uma relação entre a quantidade de água presente nas amostras e a trabalhabilidade. Os concretos que possuem uma maior proporção de agregados reciclados exigem uma quantidade maior de água do que os concretos convencionais, devido à presença de uma maior quantidade de materiais finos.

O material foi analisado por peneiras para se obter as frações granulométricas após a moagem. As frações granulométricas obtidas são demonstradas na Tabela 7, e descritas a seguir com base na NBR 7211:

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 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

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, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Série normal e série intermediária de peneiras: Conjunto de peneiras sucessivas, que atendem à ABNT NBR NM ISO 3310-1, com as aberturas estabelecidas.

Tabela 7 - Conjunto de peneiras sucessivas

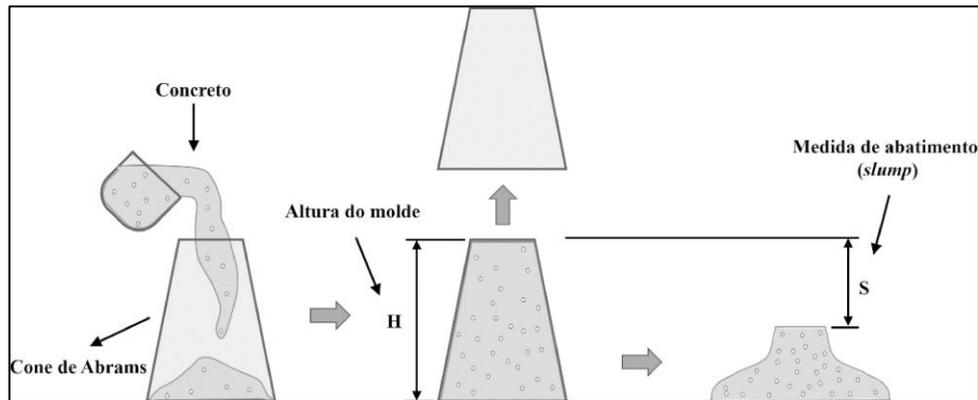
Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: NBR 7211, 2005.

Após a mistura do concreto, realizou-se a avaliação da consistência por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone, popularmente conhecido como *slump test*, como previsto pela NBR 16.889/2020 no Brasil. Esse teste tem como objetivo verificar a consistência do material, possibilitando o controle da homogeneidade do concreto e assegurando critérios de aprovação.

Na Figura 11 é apresentado o ensaio de abatimento proporcional do tronco de concreto. Este ensaio é uma prática padrão na indústria da construção civil e é realizado de acordo com a norma NBR 16.889/2020. O procedimento envolve o preenchimento de um molde tronco-cônico com concreto em três camadas iguais. Cada camada é adensada com um soquete padrão. Após o preenchimento, o molde é removido e a alteração na altura do concreto é medida. Esta medida é conhecida como o “abatimento” e é uma indicação da fluidez do concreto.

A norma NBR 16.889/2020 estabelece as diretrizes para a realização deste ensaio, garantindo que os resultados sejam precisos e consistentes. Seguir esta norma é crucial para garantir a qualidade e a segurança das estruturas de concreto.

Figura 11 - Ensaio de abatimento de tronco de cone

Fonte: NBR 16.889, 2020.

O principal objetivo dos testes de resistência à compressão é identificar possíveis falhas na qualidade do concreto, desde o momento de sua formulação até a sua composição final. Isso se deve ao fato de que a resistência característica à compressão, conhecida como FCK – o valor no qual há uma probabilidade de 5% de ocorrer resistências menores do que ele – é o parâmetro essencial para o dimensionamento de uma estrutura. Portanto, é fundamental garantir um controle de qualidade eficiente do material para assegurar que o comportamento estrutural do elemento ao longo do tempo esteja de acordo com as normas de projeto estabelecidas.

Na Figura 12 é possível observar o armazenamento dos corpos de prova de concreto, que estão sendo mantidos em condições extremas, especificamente submersos em água. Esta prática, embora possa parecer adversa, é uma parte essencial do processo de cura do concreto.

A cura do concreto é um procedimento que ocorre após o concreto ter sido colocado e moldado. Durante este período, o concreto ganha força e durabilidade através de um processo de hidratação, que é a reação química entre a água e o cimento no concreto.

Após o período de cura, os corpos de prova foram testados usando um equipamento de compressão, conforme ilustrado na Figura 13. Este teste mede a resistência à compressão do concreto, que é uma de suas propriedades mais importantes. A resistência à compressão indica a capacidade do concreto de resistir a cargas que tendem a reduzir seu tamanho, tornando-o uma medida da adequação do concreto para uso em estruturas de construção.

Portanto, embora o armazenamento dos corpos de prova em água possa parecer uma “pior situação” é, na verdade, uma parte essencial do processo de cura e teste do concreto. Através deste processo, pode-se garantir que o concreto usado na obra seja de alta qualidade e adequado para o propósito pretendido.

Figura 12 - Armazenamento de corpos de prova para teste de compressão



Fonte: Autor, 2023.

Figura 13 - Equipamento de ensaio de compressão digital



Fonte: Autor, 2023.

No controle tecnológico de concretos, a etapa de formação de lotes de corpos de prova é crucial para assegurar a qualidade e a resistência de elementos recém-produzidos, permitindo a avaliação precisa da resistência característica à compressão nas idades estabelecidas pelo engenheiro responsável. Essa prática, apesar de simples, requer a fabricação de, no mínimo, seis amostras para concretos de classes até C50 e 12 amostras para concretos de classes superiores a C50 de algumas fundições, quando se adota uma abordagem de amostragem parcial, conforme a ABNT NBR 12655. Já ao optar pelo controle estatístico por amostragem total, é imprescindível coletar amostras de todas as misturas de concreto para então calcular o FCK estimado.

O ensaio de compressão axial é um procedimento fundamental na indústria da construção civil. Este ensaio é realizado para determinar a resistência à compressão do concreto, que é uma das propriedades mais importantes deste material. A resistência à compressão é a capacidade do concreto de resistir a cargas que tendem a reduzir o seu tamanho. É uma medida de adequação do concreto para uso em estruturas de construção. No contexto do projeto, este ensaio foi meticulosamente realizado. Cada corpo de prova - que é uma amostra de concreto moldada especificamente para o teste - foi cuidadosamente posicionado na máquina de ensaio. O posicionamento foi feito de tal forma que o eixo do corpo de prova coincidissem com o eixo da máquina. Isso é fundamental para garantir que a força aplicada durante o teste seja distribuída uniformemente através do corpo de prova.

Além disso, foi garantido que a resultante das forças passasse pelo centro geométrico do corpo de prova. Isso significa que a força foi aplicada de maneira a simular as condições que o concreto enfrentaria em uma situação real de carga. Isso é essencial para obter resultados de teste que sejam verdadeiramente representativos do desempenho do concreto em condições reais. Todo este procedimento foi realizado em conformidade com a norma ABNT NBR 573. Esta norma, estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), fornece diretrizes detalhadas sobre como realizar o ensaio de compressão axial.

A Figura 14 ilustra este processo em detalhes. Através desta figura, é possível visualizar o posicionamento preciso do corpo de prova na máquina de ensaio, bem como a aplicação da força durante o teste. Esta representação visual serve como uma confirmação adicional de que o ensaio foi realizado de acordo com as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 573.

Figura 14 - Ensaio de compressão axial do concreto



Fonte: NELSON SCHNEIDER, 2020.

Uma das principais propriedades do concreto após sua solidificação é a resistência à compressão, fator crucial para assegurar a qualidade do material. Por isso, é imprescindível realizar o teste de compressão em corpos de prova, afim de determinar a resistência em MPa, o modo de falha e demais informações relevantes. O processo de moldagem e cura dos corpos de prova deve obedecer às normas técnicas NBR 5738 (ABNT, 2015) e NBR 5739 (ABNT, 1994) para garantir a precisão dos resultados obtidos.

Foram analisadas as leituras da carga de ruptura de cada corpo de prova, em toneladas-força, fornecidas pela prensa hidráulica.

4.4 CUSTO COM SALÁRIOS

Com base nos valores encontrados no site do Governo Federal (2024), foi considerado o novo salário-mínimo em 2024. Esse valor representa um aumento de 6,97% vigentes em 2023. Vale ressaltar que o operador do marteleto de 10 kg desempenha a função de servente de pedreiro, considerando o salário mínimo.

4.5 CUSTO COM ENERGIA

Neste caso levou-se em consideração duas situações, uma da maneira que este trabalho propôs de forma manual e outra forma por pesquisa científica com dados de funcionamento de uma usina e seus agregados para obter o agregado desejado. Ao final pode-se fazer os comparativos entre ambos.

Neste projeto, a britagem, que é o processo de fragmentação de materiais maiores, foi realizada utilizando-se um martelo de 10 kg da marca Martelo Demolidor Makita, modelo HM1203C 220. Este equipamento é conhecido pela sua robustez e eficiência, tornando-o uma escolha ideal para tarefas de britagem com colaborador. A Tabela 8 fornece um resumo das principais características e especificações do Martelo Demolidor Makita HM1203C 220. Isso inclui detalhes como a potência do motor, a taxa de impacto e o peso do equipamento.

Tabela 8 - Especificações equipamento conforme manual de instruções

Equipamento: Makita 10 kg 1510 W HM1203c	
Potência	1510 W
Impacto por minuto	950 – 1900
Energia de impacto	25,5 J
Peso	9,7 kg
Emissão de vibração	16,5 m/s ²

Fonte: MANUAL MAKITA DO BRASIL, 2024.

O cálculo de energia de uma central de reciclagem pode ser feito de acordo com a pesquisa de Jadovisk (2005), na qual foram analisados os custos relacionados ao consumo de energia elétrica dos equipamentos presentes na central de reciclagem: um classificador vibratório; um transportador de correia; duas correias transportadoras; uma peneira vibratória e um painel de controle elétrico. Os valores utilizados nos cálculos foram baseados em dados fornecidos pelos fabricantes, conforme detalhado por Jadovisk (2005) e apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Potência dos equipamentos de uma usina de RCC

Capacidade de Produção (t/h)	Alimentador Vibratório (kW)	Calha Vibratória (kW)	Britador de Mandíbulas (kW)	Peneiras (kW)	Correias de Bica Corrida (kW)	Correias de Areia e Brita (kW)
20	2,94	1,47	19,61	3,68	2,94	11,03
30	3,79	1,84	19,42	5,52	2,94	13,24
40	3,79	2,20	35,00	7,36	3,68	13,24
50	5,51	2,41	42,00	9,20	4,41	26,48

Fonte: JADOVISCK, 2005.

Ao calcular os custos de energia, o preço do kWh foi adquirido através do site da empresa distribuidora de energia (CPFL), com referência à tarifa de janeiro de

2024. Nesse montante já estão contemplados os tributos (ICMS+ PIS+COFINS), porém não foi levada em conta, neste estudo, a variação sazonal das taxas extras da bandeira amarela e vermelha, que acrescentam um valor ao kWh/hora consumido em excesso.

4.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS AGREGADOS RECICLADOS E AGREGADOS NATURAIS

Foi realizada uma análise comparativa entre o valor de venda do material reciclado e os preços de mercado do produto convencional oferecido pelas principais empresas fornecedoras da região. Para esta análise, foram selecionadas companhias localizadas no entorno de Ribeirão Preto, afim de investigar a política de preços praticada por essas empresas em comparação com a usina. Através de informações verbais, foram levantados os valores de mercado da Brita 0, Brita 1 e Areia, assim como os custos de transporte dos agregados até o local de aplicação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 GRANULOMETRIA

A heterogeneidade do material é um fator significativo que distingue os agregados reciclados. Pode-se observar na Tabela 10, onde a granulometria obtida após a passagem do agregado pela peneira granulométrica apresentou variações consideráveis. Essa heterogeneidade pode afetar as propriedades mecânicas e a qualidade do concreto produzido com esses agregados.

Tabela 10 - Relatório Ensaio Agregado Reciclado

Peneiramento		Faixa NBR 7211									
Peneiras		Massa Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada	Zona Granulométrica (d/D)						
Pol.	Mm				4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75		
3"	75	0,00	0,00	0,00						0	5
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00						5	30
											75
2"	50	0,00	0,00	0,00					0	5	100
										5	90
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00						30	100
										75	95
1 1/4"	31,5	0,00	0,00	0,00				0	5	100	100
										87	
1"	25	64,55	1,46	1,46				0	5	5	25
										100	
3/4"	19	400,60	9,08	10,54				2	15	65	95
										95	100
1/2"	12,5	779,66	17,67	28,22	0	5	40	65		92	100
										95	
3/8"	9,5	786,87	17,64	46,06	2	15	80	100		100	
1/4"	6,3	1402,68	31,80	77,85	40	65	92	100			
4	4,75	419,72	9,51	87,37	80	100	95	100			
8	2,36	407,77	9,24	96,61	95	100					
Fundo		149,52	3,39	100,00	Porcentagem, em massa, retida acumulada						
Massa Total		4411,37	100,00		Diâmetro Máximo = 25.00 mm						

Fonte: RELATÓRIO GRANULOMÉTRICO EM ANEXO, 2023.

Os resultados obtidos na Tabela 10 mostraram que o material reciclado, ao ser britado, gerou uma grande dispersão de partículas, com uma maior quantidade de finos, que resulta em uma maior absorção de água. De acordo com os resultados obtidos na Tabela 3, é possível notar que a principal distinção entre o agregado reciclado e o natural reside nas argamassas aderidas presentes no reciclado, onde os resultados de absorção de água para agregados reciclados são maiores que os agregados naturais. Essa característica influencia diretamente as medidas retidas na

peneira de granulometria, que seriam distintas caso fossem utilizados exclusivamente agregados naturais. Os dados coletados evidenciam essa diferença, destacando o impacto das argamassas aderidas nas propriedades do agregado reciclado.

Algumas propriedades do concreto endurecido são analisadas no estudo de Van Acker (1996), relacionando os valores obtidos para diferentes dosagens de agregados reciclados com o concreto original, a Tabela 4 mostra alguns resultados desse estudo. O concreto reciclado apresenta maior retração e absorção de água do que o concreto natural, em função do menor módulo de elasticidade dos agregados reciclados. Por exemplo, um agregado britado tem maior rugosidade que um seixo rolado, o que favorece a aderência com a pasta de cimento, mas também possui muitas partículas chatas ou alongadas que prejudicam algumas propriedades do concreto, além de demandar mais água para obter a mesma trabalhabilidade.

A britagem dos resíduos pode ser caracterizada como a execução de ações que visam a redução de materiais grandes em partículas menores, adequadas para uso imediato ou para etapas seguintes de produção. A escolha comum no Brasil entre os britadores de mandíbula e de impacto leva à busca por distinções, uma vez que o tipo de britador empregado pode afetar o desempenho do agregado reciclado (ABRECON, 2013).

Assim, por não ter sido possível realizar o teste com um britador acessível, foram feitos os testes de forma manual, com auxílio da mão de obra própria, e utilização de ferramentas, como marretas, até que se chegou ao resultado de um material mais próximo a brita 1 ou 2, conforme observado no relatório de granulometria e Tabela 10 anteriormente detalhada.

Na Figura 15 é possível observar o processo de britagem sendo realizado de maneira manual por um colaborador utilizando um martelo de 10 kg. Este método de britagem é caracterizado pelo uso de força humana e ferramentas manuais para fragmentar o concreto excedente.

Figura 15 - Quebra manual do concreto com equipamento martetele



Fonte: Autor, 2023.

A britagem manual é um processo trabalhoso que requer habilidade e esforço físico consideráveis. O colaborador deve manusear o martelo de 10 kg com precisão para quebrar efetivamente o concreto em pedaços menores. Este método, embora seja mais demorado e exija mais esforço do que a britagem mecânica, pode ser preferível em certas situações onde o volume de concreto a ser britado é pequeno ou onde o uso de máquinas pesadas não é viável, por exemplo este trabalho.

A Tabela 11 fornece informações detalhadas sobre os tamanhos das britas que serão retidos na peneira durante o processo de britagem. A britagem é um processo que envolve a fragmentação de materiais maiores, neste caso, o concreto, em pedaços menores conhecidos como britas. As britas são classificadas com base no tamanho dos grãos, que é determinado pela peneira através da qual elas são retidas.

A norma NBR 7211, estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), fornece diretrizes para a classificação e caracterização das britas. De acordo com esta norma, as britas são classificadas em diferentes categorias com base no tamanho dos grãos. Por exemplo, a brita 0 (ou pedrisco) tem grãos com diâmetros de 4,8 mm a 9,5 mm, a brita 1 tem grãos com diâmetros de 9,5 mm a 19 mm, e assim por diante.

Conforme pode-se observar na Tabela 10, foram obtidos os dados da granulometria feita, com material reciclado e coletado, identificando-se que pode-se ter vários tipos de massa retidas na peneira, sendo a maior massa com 6,3 mm,

podendo ser caracterizado como um agregado de brita 1, conforme Anexo I demonstrando o relatório obtido.

Tabela 11 - Identificação do número da brita conforme Norma 7211 e 7225

Pedra britada numerada	(NBR-7211/NBR-7225)		Comercial	
	Tamanho nominal			
	Malha de peneira (mm)			
Número	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Brita 0			4,8	9,5
Brita 1	4,8	12,5	9,5	19,0
Brita 2	12,5	25,0	19,0	38,0
Brita 3	25,0	50,0	38,0	50,0
Brita 4	50,0	76,0	50,0	76,0
Brita 5	76,0	100,0		

Obs.: para efeito de dosagem pode-se utilizar d=25 mm para uma mistura de brita1+brita2 > 76 mm → pedra de mão

Fonte: NBR 7211 e NBR 7225, 2005.

A classificação das britas de acordo com o tamanho dos grãos é crucial para garantir que o concreto tenha as propriedades desejadas. Diferentes tamanhos de brita podem afetar a resistência, a trabalhabilidade e a durabilidade do concreto. Portanto, a escolha do tamanho da brita é uma consideração muito importante.

Após o processo de britagem, os resíduos resultantes foram categorizados em duas frações distintas: uma de granulometria fina e outra de granulometria grossa. Estas frações foram devidamente armazenadas em recipientes apropriados para uso futuro. No momento da produção do concreto reciclado, os agregados reciclados já haviam passado por um período de armazenamento de 45 dias. Este período de armazenamento é fundamental para garantir a adequação dos agregados para uso no concreto reciclado. Estes procedimentos e prazos estão alinhados com o cronograma de testes estabelecido pelo Laboratório do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), (LATTERZA; MACHADO, 1997).

Na Figura 16 é apresentada uma representação visual do agregado reciclado após ter passado pelo processo de britagem, conforme descrito neste estudo. A Figura 17, por sua vez, ilustra o procedimento subsequente de peneiramento do agregado reciclado. O peneiramento é um método utilizado para separar os agregados em

diferentes tamanhos ou granulometrias. Este processo é essencial para garantir que os agregados sejam adequados para o uso pretendido, pois diferentes aplicações de construção podem exigir agregados de diferentes tamanhos.

Figura 16 - Coleta da amostra do agregado reciclado britado manualmente



Fonte: Autor, 2023.

Figura 17 - Peneira de granulometria e agitador



Fonte: Autor, 2023.

5.2 CONCRETO

Os agregados reciclados, como mencionado anteriormente, exibem uma absorção de água significativamente maior do que os agregados naturais. Além disso, eles possuem uma granulometria bastante variada.

O estudo de Spanderla (2015) mostrou que o agregado miúdo reciclado absorve muito mais água do que o natural: 7,66 vezes mais. Isso acontece porque o agregado reciclado tem muitos materiais finos e poeirentos, que fazem com que a mistura precise de mais água e reduza a resistência do concreto ao desgaste. O agregado é o que mais afeta a densidade, a rigidez e a forma do concreto. Essas propriedades dependem mais de aspectos físicos do material, como volume, tamanho, forma, granulometria e porosidade, do que de aspectos químicos. Os agregados reciclados são menos densos e absorvem mais água do que os naturais, por causa da argamassa que fica na superfície dos agregados que vieram do concreto. Uma análise do material triturado revelou que os agregados tinham, em média, 30% de argamassa grudada. Pode-se observar nesta pesquisa no tópico da granulometria do agregado reciclado é mencionado que o aproveitamento de materiais reciclados pode aumentar a absorção de água e o índice de vazios. As maiores diferenças ocorreram quando a relação água/cimento da dosagem era baixa, ou seja, para concretos com alta resistência. É comum concluir que para esses concretos, a influência do agregado reciclado, especialmente o graúdo, é mais evidente, uma vez que possui uma porosidade maior do que o material natural e por estar distribuído em uma matriz de argamassa mais densa do que a de concretos com resistência mais baixa.

É importante examinar as propriedades de absorção de água dos concretos reciclados, especialmente em relação à durabilidade das estruturas construídas com esses materiais. Algumas normas recomendam cobrimentos mínimos de armadura, conforme o grau de agressividade do meio ambiente. Como a absorção de água para os concretos reciclados é maior que os concretos naturais, estes valores precisam ser conferidos se são satisfatórios.

Na Figura 18 foram separadas amostras de materiais reciclados para que se pudesse fazer a execução de um concreto convencional, com o intuito de chegar num valor aproximado de concreto FCK15, que geralmente é utilizado para calçadas ou piso magro. Essa mistura dos materiais reciclados foi feita baseada na carta traço fornecida, conforme Anexo II e Tabela 12, a seguir.

Figura 18 - Material coletado conforme carta traço e material reciclado



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 12 - Carta traço de concreto a ser utilizado

BOMB FCK 15 MPa B01 ST 100±20		
Cimento	=	188 kg
Areia Fina	=	458 kg
Areia Artificial	=	500 kg
Brita 0	=	322 kg
Brita 1	=	752 kg
Água	=	196 Lts

Fonte: CARTA TRAÇO EM ANEXO, 2023.

Na Figura 18 é possível observar a organização meticulosa dos materiais armazenados, que foram cuidadosamente medidos e dispostos em quantidades adequadas de acordo com a carta traço. A carta traço é um documento técnico que especifica as proporções exatas de cada componente que deve ser usado na mistura

de concreto. Isso inclui a quantidade de cimento, água, agregados e quaisquer aditivos necessários.

O armazenamento adequado dos materiais é um aspecto essencial na preparação do concreto. Cada componente deve ser medido com precisão para garantir que a mistura final tenha as propriedades desejadas. Além disso, os materiais devem ser armazenados de forma a evitar contaminação ou degradação, que poderiam afetar adversamente a qualidade do concreto.

A Figura 18 ilustra claramente este processo de armazenamento. Os materiais são armazenados em recipientes facilitando não apenas o processo de medição e mistura, mas também ajuda a garantir a consistência e a qualidade do concreto produzido.

Conforme carta traço constante no Anexo II e representado na Tabela 12, observa-se as quantidades necessárias para a execução de um concreto com FCK15.

No teste realizado, não foi possível executar 1 m³ de concreto devido à quantidade ser inviável para a amostragem de brita. Portanto, optou-se por executar o teste com 50 litros de concreto, o que equivale a 0,05 m³ de concreto. As proporções obtidas estão apresentadas na Tabela 13. Essa abordagem permite uma análise mais precisa das características do concreto, considerando a limitação de volume para a amostra.

Tabela 13 - Referência do concreto FCK 15 em menor quantidade de 1 m³ para 50 L

Materiais	1 m³	0,05 m³ ou 50 L
Cimento	188 kg	9,4 kg
Areia fina	458 kg	22,9 kg
Areia artificial	500 kg	25 kg
Brita 0	322 kg	16,1 kg
Brita 1	752 kg	37,6 kg
Água	196 L	12 L

Fonte: Autor, 2023.

Na Figura 19 é possível observar o processo de produção do concreto com o auxílio de uma betoneira. A betoneira é um equipamento essencial na indústria da construção civil, utilizado para misturar os componentes do concreto de maneira eficiente e uniforme.

Neste processo todos os materiais propostos são adicionados à betoneira. Isso inclui os agregados de Resíduos da Construção Civil (RCC), a dosagem adequada de cimento e a quantidade precisa de água. Cada um desses componentes desempenha na formação do concreto.

Figura 19 - Material sendo produzido com auxílio de betoneira



Fonte: Autor, 2023.

5.3 CARACTERIZAÇÕES DOS CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS

Realizou-se o ensaio de *SLUMP* representado na Figura 20, o qual avalia a plasticidade do concreto para verificar a sua aplicabilidade e garantir que possa ser utilizado na construção de determinada estrutura. De maneira técnica, é viável transferir esse concreto para corpos de prova em um laboratório especializado em concreto e, em seguida, realizar o ensaio de resistência à compressão, afim de determinar o valor de FCK (Resistência Característica à Compressão) das amostras.

Os resultados do ensaio de determinação da consistência, medido pelo abatimento do tronco de cone, mostram que os agregados reciclados tiveram um impacto significativo na consistência do concreto, principalmente devido a sua alta absorção de água.

Figura 20 - Teste *slump* do concreto com agregado reciclado



Fonte: Autor, 2023.

Na Figura 21 é possível observar o armazenamento do concreto fresco em corpos de prova. Este procedimento é realizado com o objetivo de realizar testes de compressão posteriores. O concreto é armazenado nos corpos de prova enquanto ainda está fresco, ou seja, antes de iniciar o processo de cura. Durante a cura, o concreto endurece e ganha resistência. Este processo é fundamental para o desempenho do concreto e deve ser cuidadosamente controlado para garantir que o concreto atinja sua resistência máxima.

Figura 21 - Corpo de Prova moldado conforme norma e separado para teste



Fonte: Autor, 2023.

Para os ensaios de resistência à compressão do concreto, foi usada uma prensa hidráulica da marca Pavilest, sendo uma máquina de ensaio de compressão elétrica digital, com capacidade de até 100000 kgf de compressão.

Como se pode observar na Figura 21, foram moldados seis corpos de provas para os testes de compressão, neste estudo foi possível romper os corpos de prova com apenas 28 dias, que seria a disponibilidade do laboratório. Tendo se o resultado positivo, caso resultado fosse insatisfatório seria guardado dois corpos de prova para romper com 63 dias seria o contraprova caso a resistência não seja satisfatória até 28 dias de cura.

Conforme evidenciado pelos laudos e relatórios técnicos especificamente na Tabela 14, foi possível alcançar um valor convencional de resistência à compressão (FCK) de 15 MPa com o uso desses agregados reciclados. O concreto magro é um tipo de concreto com uma baixa proporção de cimento, geralmente usado para fins não estruturais, como a preparação de bases para pisos ou pavimentos. A Figura 22 evidencia a tampa de passagem executada em concreto com agregado reciclado, ilustra este conceito de forma mais clara, fornecendo uma representação visual do tipo de concreto que pode ser produzido usando esses agregados reciclados. Esta figura serve como uma confirmação visual das conclusões deste estudo e destaca o potencial dos agregados reciclados como uma alternativa sustentável e eficaz aos agregados tradicionais na produção de concreto.

Figura 22 – Tampa de passagem de 60x60 cm produzida a partir do concreto com agregado reciclado



Fonte: Autor, 2023.

5.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Pode ser observado no Anexo III e evidenciado na Tabela 14, que os testes foram satisfatórios com o alcance do FCK desejado, obtendo-se assim uma mistura do agregado reciclado homogênea, formando-se o concreto para usos não estruturais. Por exemplo, uma tampa de caixa de passagem, conforme Figura 22, ou, calçadas do empreendimento em estudo.

Tabela 14 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

Ensaio de Compressão					
Dia de Rompimento	28	28	28	28	28
Tensão (MPa)	16,5	13,8	15,3	13,5	11,9
Média Ponderada	14,2				
Desvio Padrão	1,7635				
<i>Slump</i> (mm)	160				

Fonte: RELATÓRIO ENSAIO DE COMPRESSÃO EM ANEXO, 2023.

Ao analisar a literatura sobre o estudo da composição do concreto com as referências deste trabalho, notou-se que o impacto do agregado de tamanho maior em sua resistência é considerado de menor importância. A permeabilidade da matriz e as propriedades da zona de transição são apontadas como os estágios mais relevantes, com maior impacto na sua resistência.

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram retirados de um concreto com resistência semelhante às misturas dos concretos reciclados, demonstrando alta qualidade. De acordo com os estudos analisados, ao utilizar apenas a parte mais grossa do agregado reciclado, para materiais de qualidade elevada a resistência do concreto reciclado se assemelha à do concreto original, com variações mínimas em casos de substituições diferentes.

Os resultados alcançados para esta característica neste estudo foram positivos e estão de acordo com as expectativas para as normas de concreto, além de estarem em concordância com os princípios abordados na revisão bibliográfica sobre a estrutura do concreto. É evidente que são necessários mais estudos para investigar diferentes fatores que podem influenciar no concreto reciclado, como a quantidade de cimento utilizada, a qualidade do resíduo, o tempo de armazenamento e a idade do material, além do tipo de agregado natural. Com o tempo, à medida que

mais pesquisas forem realizadas, será possível compreender e aproveitar melhor esse material.

5.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

A potência dos modelos de marteleto dado ao manual é 1.510 W ou seja 1,51 kW. Sendo assim, o consumo do marteleto pode ser calculado por:

$$\text{Consumo} = (\text{potência em watt}/1000) \times (\text{tempo em horas}) = \text{total em kWh}$$

$$1.510/1000 = 1,51 \text{ kW}$$

$$1,51 \times 1 \text{ (ex: horas trabalhadas)} = 1,51 \text{ kWh.}$$

Valor obtido por kWh das tarifas vindo da CPFL sem comparações com bandeiras hoje na região paulista está no valor de R\$ 0,62. Sendo assim o valor do marteleto por hora será de:

$$1,51 \text{ kWh} \times 0,62 = \text{R\$ } 0,93 \text{ kWh}$$

Para compreender o custo indicado pela pesquisa documental, podemos analisar com base na Tabela 9 que consta no item Metodologia. É notável que, para uma produção de 30 toneladas por hora (levando-se em consideração um alimentador vibratório de seleção, uma esteira transportadora, um britador de mandíbula, duas correias transportadoras de areia e brita, uma peneira vibratória e um painel de controle elétrico), o consumo médio é de 40 quilowatts por hora. A produção de 30 toneladas por hora é a mesma existente na planta estudada, com uma produção de cerca de 5.000 toneladas. Desta maneira, os custos referentes à eletricidade foram estimados em R\$4.364,80, conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Consumo de energia para o processamento dos RCC

Horas Diárias (h)	Quantidades de dias por mês (dias)	Total de Horas no mês (h)	Valor kWh (CPFL)	Média de consumo de energia (kWh por hora)	kWh mensal	Gasto mensal (R\$)
8	22	176	0,62	40	7040	4.364,80

Fonte: Autor, 2023.

Considerando-se o salário mínimo de 2024, cujo valor é de R\$ 1.412,00, e levando em conta 22 dias trabalhados com 8 horas de trabalho por dia, podemos calcular o custo horário do colaborador. Esse custo equivale a R\$ 8,02 por hora.

Considerando-se a produção manual de um colaborador utilizando um marteleto, é possível observar a quebra de 100 kg de agregado reciclado por hora. Essa informação pode ser analisada pela Tabela 16.

Tabela 16 - Valor por hora do processamento agregado reciclado manual

Salário colaborador por hora (sem encargos)	Valor hora maquina kwh	Produção britagem por hora	Valor total por hora
R\$ 8,02	R\$ 0,93	100 kg	R\$ 8,95

Fonte: Autor, 2023.

O custo associado à britagem manual é estipulado em R\$ 8,95 para cada 100 kg de material processado. Alternativamente, este valor também pode ser aplicado a 0,1 m³ de material britado.

A Tabela 17 apresenta uma comparação entre o processamento industrial e o processamento manual de britagem de Resíduos da Construção Civil (RCC). O processamento industrial de britagem geralmente envolve o uso de máquinas pesadas e tecnologia avançada para triturar os materiais de forma eficiente e uniforme. Este método é caracterizado por sua alta capacidade de produção, precisão e consistência. Além disso, o processamento industrial geralmente requer menos esforço humano e pode ser mais seguro, pois reduz o risco de lesões relacionadas ao trabalho manual pesado. Por outro lado, o processamento manual de britagem envolve o uso de ferramentas manuais e esforço humano para quebrar os materiais. Embora este método possa ser útil em certas situações, como quando o volume de material a ser britado é pequeno, ele é geralmente menos eficiente do que o processamento industrial.

O processamento manual pode ser mais demorado, menos preciso e mais propenso a inconsistências. Portanto, a partir da análise apresentada na Tabela 17, é evidente que o processamento industrial de britagem de RCC é geralmente mais eficiente do que o processamento manual. Esta eficiência pode resultar em economia de tempo e recursos, bem como em um produto final de maior qualidade. No entanto,

é importante notar que a escolha do método de processamento deve sempre levar em consideração as circunstâncias específicas de cada projeto. Os cálculos de custo apresentados baseiam-se na premissa de um período laboral composto por 22 dias úteis o mês, com jornadas de 8 horas diárias. Esta configuração de tempo de trabalho é adotada como padrão para a análise financeira detalhada que se segue.

Tabela 17 - Custo e produção do processador manual e industrial por mês

	Processador Manual	Processador industrial
Custos	R\$ 1.575,20	R\$ 4.364,80
Produção	17,6 t	4800 t

Fonte: Autor, 2023.

Observa-se que o estudo aqui proposto é apenas para uma obra, sendo assim pode-se identificar que a viabilidade mensal de um colaborador mais o martetele, compensa para obra residencias de baixo custo, pois o que ela produz de resíduo pode ser absorvido por um custo menor, em contrapartida, observa-se que a usina é indicada para grandes industrias.

5.6 COMPARAÇÃO DO PRODUTO NO MERCADO

Diante da exposição do estudo, que aborda duas realidades distintas uma baseada em pesquisa bibliográfica e outra nas metodologias do autor torna-se evidente a necessidade de definir a estrutura da obra antes de decidir sobre o processo de reutilização e reciclagem do material agregado. A prática de reciclar agregados não apenas contribui para a redução do consumo de recursos naturais, mas também oferece uma alternativa econômica viável. A análise de custo-benefício realizada no estudo de Faria e Fachin (2009) destaca que a utilização de agregados reciclados pode resultar em uma economia significativa, foram identificados os valores de mercado obtidos com empresas que lidam com agregados de origem natural, conforme apresentado na Tabela 18. Foi observado que os mesmos produtos comercializados foram encontrados na usina de reciclagem analisada.

Tabela 18 - Preço para venda de agregados na região metropolitana de Goiânia (Junho de 2019)

Empresas	Produto	Valor (R\$)	Unidade	Frete por tonelada (R\$)
Pedreira A	Brita 0	43,00	Tonelada	
	Brita1	35,00	Tonelada	13,00
	Area fina	50,00	Tonelada	
Pedreira B	Brita 0	42,00	Tonelada	
	Brita 1	33,00	Tonelada	15,00
	Areia	-	Tonelada	
Pedreira C	Brita 0	43,00	Tonelada	
	Brita 1	35,00	Tonelada	15,00
	Areia	26,00	Tonelada	
Pedreira D	Brita 0	61,00	Tonelada	
	Brita 1	51,00	Tonelada	13,00
	Areia	42,00	Tonelada	

Fonte: FERIS, 2019.

Os valores cobrados pela usina em estudo no trabalho de FERIS (2019) para venda de seus agregados, fornecidos pelo gerente da empresa, estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Preço cobrado para a venda de agregados (Junho de 2019)

Empresas	Produto	Valor (R\$)	Unidade
Usina Estudada	Brita 0	24,00	Tonelada
	Brita 1	24,00	Tonelada
	Rachão	24,00	Tonelada
	Areia	24,00	Tonelada

Fonte: FERIS, 2019.

Ao analisar os valores dos produtos vendidos pela usina em comparação com os praticados pelas empresas concorrentes, é possível observar que os materiais reciclados possuem um preço consideravelmente mais baixo em relação ao mercado em geral. Comparando-se os preços mais baixos oferecidos para os materiais convencionais, é evidente que a Brita 0 da usina tem um custo R\$ 18,00 menor, a Brita 1 apresenta uma diferença de R\$ 9,00 e a Areia é vendida com um desconto de R\$ 2,00 se comparada com a pedreira C. No entanto, uma análise detalhada deste estudo revela que a utilização do agregado britado manualmente, conforme indicado na Tabela 20, torna-se inviável e impraticável para a empresa aqui em estudo. Os

resultados apontam para desafios significativos na viabilidade econômica e operacional ao empregar esses agregados reciclados manualmente.

Tabela 20 - Custos com salário colaborador

Salário colaborador por hora (sem encargos)	Valor hora maquina kwh	Produção britagem por hora	Valor total por hora	Valor da produção de 0,8 m ³ dia
R\$ 8,02	R\$ 0,93	100 kg	R\$ 8,95	R\$ 71,60

Fonte: Autor, 2023.

5.7 VIABILIDADE DE CUSTO PARA OBRA

Sabendo-se os valores dos agregados reciclados pelas usinas recicladoras e fazendo-se o comparativo com agregado natural, pode-se analisar a economia com agregado reciclado da obra poderia se beneficiar. Buscando-se valores dos insumos que fazem parte de um concreto simples visto no estudo, nota-se o quanto a obra poderia ter lucrado com estudo para organizar-se com a usina local e executar o concreto simples com agregado reciclado vindo de suas concretagens de parede.

Com base no traço do concreto FCK 15, conforme detalhado no Anexo II, é possível obter os valores dos materiais necessários para a execução do concreto com essa resistência característica. Esses valores podem ser extraídos com o auxílio da Tabela 13, que fornece uma descrição detalhada dos componentes necessários e suas respectivas quantidades.

Para determinar os custos associados à execução de um concreto simples, pode-se recorrer à tabela do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (SINAPI) do ano de 2023. Esta tabela fornece uma visão abrangente dos valores de mercado dos insumos necessários para a produção de concreto.

Para a referência de custo da água, um componente essencial na mistura do concreto, foram utilizadas as tarifas comerciais fornecidas pelo site da Secretaria de Água e Esgoto de Ribeirão Preto (SAERP). Estas tarifas fornecem uma estimativa precisa do custo da água utilizada na produção do concreto.

Portanto, a combinação dessas fontes de dados - a Tabela 21, a tabela SINAPI 2023 e as tarifas da SAERP é possível uma avaliação abrangente dos custos envolvidos na produção de concreto FCK 15. Esta avaliação é crucial para o

planejamento eficaz do projeto e para garantir que os recursos sejam utilizados de maneira eficiente.

Tabela 21 - Valores de material para execução de massa de concreto com agregado natural

Cimento portland pozolanico CP IV-32 – kg	Areia fina - posto jazida/fornecedor – m ³	Areia média – m ³	Pedra britada n. 0, ou pedrisco (4,8 A 9,5 mm – m ³	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) – m ³	Água – m ³
R\$ 0,58	R\$ 75,00	R\$ 75,00	R\$ 80,39	R\$ 69,63	R\$ 7,41

Fonte: Autor, 2023.

Na Tabela 21 é apresentada uma análise detalhada dos custos associados à produção de concreto utilizando agregados naturais. Esta tabela fornece uma visão abrangente dos vários componentes de custo envolvidos, permitindo uma compreensão clara do investimento financeiro necessário para a produção de concreto com agregados naturais. Por outro lado, a Tabela 22 oferece uma análise dos custos para produção de 1 m³ de concreto com agregado natural. Já a Tabela 23 pode-se observar o concreto produzido utilizando-se agregados reciclados como referência para análise da viabilidade do custo.

Tabela 22 - Custo de 1 m³ de concreto FCK15 com agregado natural

Material	Quantidade	Unidade	Valor uni.	Total
Cimento portland pozolanico CP IV-32 – kg	188	kg	R\$ 0,58	R\$ 109,04
Areia fina - posto jazida/fornecedor – m ³	548	kg	R\$ 0,08	R\$ 41,10
Areia média – m ³	500	kg	R\$ 0,08	R\$ 37,50
Pedra britada n. 0, ou pedrisco (4,8 A 9,5 mm – m ³	322	kg	R\$ 0,08	R\$ 25,76
Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) – m ³	752	kg	R\$ 0,07	R\$ 51,89
Água – m ³	196	kg	R\$ 0,02	R\$ 3,92
TOTAL				R\$269,00 m³

Fonte: Autor, 2023.

Neste estudo, constatou-se que o concreto produzido com agregados reciclados é R\$21,00 mais econômico por metro cúbico do que o concreto produzido com agregados naturais. Esta diferença de custo torna o concreto com agregados reciclados uma opção competitiva no mercado da construção civil. Além disso, este tipo de concreto demonstrou possuir propriedades robustas, tornando-o adequado para uma variedade de aplicações simples em projetos de construção. Portanto, os resultados deste estudo indicam que o concreto com agregados reciclados não é apenas uma alternativa viável do ponto de vista econômico, mas também uma opção de material de construção com qualidade adequada. Isso reforça a importância de do estudo sobre o agregado reciclado e promovendo o uso de materiais reciclados na construção civil.

Tabela 23 - Custo de 1 m³ de concreto FCK15 com agregado reciclado

Material	Quantidade	Unidade	Valor uni.	Total
Cimento portland pozolanico CP IV-32 – kg	188	kg	R\$ 0,58	R\$ 109,04
Areia fina - posto jazida/fornecedor – m ³	548	kg	R\$ 0,08	R\$ 41,10
Areia média – m ³	500	kg	R\$ 0,08	R\$ 37,50
Pedra britada n. 0, ou pedrisco (4,8 A 9,5 mm – m ³	322	kg	R\$ 0,06	R\$ 19,32
Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) – m ³	752	kg	R\$ 0,05	R\$ 37,60
Água – m ³	196	kg	R\$ 0,02	R\$ 3,92
TOTAL				R\$248,00 m³

Fonte: Autor, 2023.

Com base nos dados apresentados anteriormente, foi identificado que o empreendimento do estudo abrange uma área total de 219.131,84 m². Considerando-se a execução de uma calçada nesta área, utilizando-se concreto de resistência

característica à compressão (FCK) de 15 MPa e uma espessura de 5 cm sem armação, é possível realizar uma análise de custo detalhada.

A Tabela 24 a seguir apresenta uma análise comparativa dos custos associados à utilização de concreto com agregados naturais e concreto com agregados reciclados para a execução da calçada. Esta análise leva em consideração os custos dos materiais, bem como outros fatores relevantes, como a mão de obra e o equipamento necessários.

Tabela 24 - Economia do agregado reciclado em obra (agregado processado em usina recicladora)

Concreto FCK15 (natural)	Concreto FCK15 (reciclado)	Diferença do valor entre concretos	Metragem em m³ calçada do empreendimento	Ganho da diferença entre concretos para empreendimento
R\$ 269,00 m ³	R\$ 248,00 m ³	R\$ 21,00	10956,55	R\$ 230.087,55

Fonte: Autor, 2023.

Ao comparar as duas tabelas, é possível observar uma diferença significativa nos custos associados a cada tipo de concreto. Esta comparação oferece uma visão valiosa sobre a viabilidade econômica do uso de agregados reciclados na produção de concreto, que no caso o empreendimento em estudo poderia ter deixado de gastar com concreto nas calçadas o valor de R\$ 230.087,55 destacando o potencial de economia de custos que pode ser alcançado através da adoção de práticas de construção mais sustentáveis.

Portanto, este estudo destaca o potencial dos agregados reciclados como uma alternativa econômica e sustentável aos agregados naturais na produção de concreto. A adoção de concreto com agregados reciclados pode resultar em economias significativas de custos, ao mesmo tempo que contribui para a sustentabilidade na indústria da construção civil.

6 CONCLUSÕES

Por meio da elaboração deste estudo, pode-se observar que a geração de resíduos pela construção civil é muito grande e, também, é um dos setores responsáveis por consumir grande parte dos recursos naturais, através da matéria-prima para os materiais de construção. Assim é, por sua vez, uma das grandes geradoras de impactos ambientais negativos, em função da geração de resíduos e consumo da matéria-prima.

Isto posto, a gestão dos resíduos da construção civil deve ser constante e principalmente com entonação às normas específicas dos resíduos de Classe A, devendo os mesmos serem devidamente gerenciados, na grande maioria, por profissionais de engenharia, sendo reutilizados ou reciclados *in loco*.

Analisando-se os resultados como um todo, esta pesquisa concluiu que:

- É necessário aprofundar o gerenciamento de resíduos nas construções, especialmente com foco na reutilização *in loco*. O material coletado para reutilização possui propriedades vantajosas e, ao empregá-lo, reduz significativamente o impacto ambiental. O uso racional desses materiais reciclados contribui para a preservação do meio ambiente e a sustentabilidade da indústria da construção.
- Quando se trata de agregados reciclados provenientes de resíduos de qualidade comprovada e características bem definidas, verifica-se a viabilidade técnica para a sua utilização prática. Esta constatação reforça o potencial de integração desses materiais no ciclo produtivo, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade e eficiência na construção civil.
- Os ensaios de compressão realizados no concreto com a reutilização do agregado reciclado demonstraram resultados favoráveis em relação à resistência, conforme a especificação de FCK 15 MPa. Esses resultados validam a efetividade do estudo proposto para a utilização desse tipo de agregado reciclado.
- Este estudo apresentou uma análise comparativa sobre a viabilidade econômica da segregação de materiais, destacando os custos associados aos agregados reciclados provenientes de usinas especializadas e à britagem manual para reutilização do agregado. Foi constatado que existe uma diferença significativa de custos entre os dois métodos. As usinas

recicladoras oferecem o agregado reciclado por aproximadamente R\$ 24,00 por m³, enquanto a britagem manual apresenta um custo de R\$ 89,50 para cada m³ processado diariamente. Comparativamente, o custo de mercado do agregado natural, conforme a tabela SINAPI, é de R\$ 69,63 por m³. Esses dados sugerem que a britagem manual de agregados reciclados pode ser quase tão viável economicamente quanto a aquisição de agregados naturais, considerando as condições específicas deste estudo.

- A análise de viabilidade econômica revelou que a reutilização desse material *in loco* é altamente viável para a construtora. Considerando os custos e benefícios, a adoção desses agregados reciclados pode resultar em economias substanciais, além de alinhar-se aos princípios de sustentabilidade e responsabilidade ambiental.

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que a construtora poderia deixar de gastar com os agregados de RCC um valor aproximado de R\$ 230.000,00. Entretanto, mesmo viável economicamente, o processo de reciclagem dos RCC é uma das alternativas menos utilizadas pelos geradores, sendo o descarte nos aterros visto como a melhor opção.

Neste estudo, também foi abordada a vertente técnica do material, visando sua aplicação prática, sendo necessárias outras formas de pesquisa. O adequado planejamento e controle de resíduos contribuem para conferir ao material um potencial econômico. Os agregados reciclados não devem ser considerados como descarte, mas sim como produtos de qualidade para reuso.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8419 NB 843 - **Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos**. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/61140879/NBR-8419-NB-843-Apresentacaode-Projetos-de-Aterros-Sanitarios-de-Residuos-Solidos-Urbanos>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: RESÍDUOS SÓLIDOS CLASSIFICAÇÃO**. Um ed. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 PROJETO DE ESTRUTURA DE CONCRETO – PROCEDIMENTO**. Um ed. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055: PAREDE DE CONCRETO MOLDADO NO LOCAL PARA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES**. Um ed. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: AGREGADOS PARA CONCRETO**. Um ed. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889: CONCRETO – DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DE TRONCO CONE**. Um ed. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225: MATERIAIS DE PEDRA E AGREGADOS NATURAIS**. Um ed. Rio de Janeiro, 1993.
- AUZIER, Junior; GALVAO, Mateus. **DESCRIÇÃO DAS ETAPAS CONSTRUTIVAS DE PAREDES DE CONCRETO**. 2020. 11 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020.
- COMO CONSTRUIR: **Parede de concreto**. São Paulo/Sc: Revista Técnica, v. 142, 17 jan. 2009. Mensal. Páginas 74 A 78. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/revista-techne-ed-142-janeiro-2009/4823214/>. Acesso em: 09 abr. 2023.
- 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.
- BAKOSS, S.L.; RAVINDRARAJAH, R.S. **Recycled construction and demolition materials for use in roadworks and other local government activities**. Sydney: Scoping Report - Centre for Built Infrastructure Research, University of Technology, 1999.
- BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos**. 1999. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

BORGES, Marcos. **Sistema construtivo de parede de concreto em edificação de múltiplos pavimentos considerando as perspectivas iniciais do empreendimento**. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/30932>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

BRITO FILHO, J. A. **Cidades versus entulho**. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, 2. 1999, São Paulo. Anais... São Paulo: Comitê Técnico do IBRACON; CT 206 – Meio Ambiente, p.56-67, 1999.

CAVALCANTI, Diogo J. de Holanda. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto adensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. 2006. Universidade Federal do Alagoas. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Diogo%20Jatoba%20de%20Holanda%20Cavalcanti.pdf>. Acesso em: 13 set. 2023.

CAETANO, M. O.; SELBACH, J. B. O.; GOMES, L. P. **Composição gravimétrica dos RCD para a etapa de acabamento em obras residenciais horizontais**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v.16, n.2, p.51-67, 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos - SIGOR. Informações sobre as áreas de destinação**. São Paulo, 2020. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/sigor/informacoes_sobreas-areas-de-destinacao/#1507859735781-d52477de-3433. Acesso em: 25 jun. 2020.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. (C) **Parede de Concreto – Fundações**, 2012. Disponível em: Acesso em: 06 de março de 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Diário Oficial da União, Brasília, n. 136, p. 95-96, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos**. Diário Oficial da União, Brasília, n. 158, Seção 1, p. 70, 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso**. Diário Oficial da União, Brasília, n. 99, p.123, 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os art. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10º e 11º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**. Diário Oficial da União, Brasília, seção 1, p. 95 e 96, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 469, de 29 de julho de 2015. Altera a Resolução CONAMA no 307, de 05 de julho de 2002,**

que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, n.144, seção 1, p.109-110, 2015.

CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº.307, de 05 de julho de 2002.** Brasília, 2002.

CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº.348, de 16 de agosto de 2004.** Brasília, 2004.

CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº.431, de 24 de maio de 2011.** Brasília, 2011.

CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº.448, de 18 de janeiro de 2012.** Brasília, 2012.

CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº.469, de 30 de julho de 2015.** Brasília, 2015.

COSTA, Luciana D. M. da. **Compatibilização de projetos e gerenciamento de resíduos como condições primordiais para a sustentabilidade das construções.** 73p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

EVANGELISTA, P. P. A. **Alternativa Sustentável para Destinação de Resíduos Classe A: diretrizes para reciclagem em canteiros de obras.** 2009. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

FERRAZ, Fabiano. **Métodos construtivos em paredes de concreto.** 2018. 19 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Araraquara, Araraquara, 2018.

FARIA, G. F.; FACHIN, T. P. **Avaliação da viabilidade econômica da reciclagem dos resíduos da construção civil:** Goiânia, 2009.

GONÇALVES R. D. C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais.** Dissertação mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. 2001.

GRICOLI, A. S. **Entulho em canteiro de obra utilizado como material de construção: uma alternativa inadiável.** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS

RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4. 2001, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2001.

JADOVSKI, I. **Diretrizes Técnicas e Econômicas para Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição**. Trabalho de conclusão de mestrado (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

KLEIN, F. B.; GONÇALVES-DIAS, S. L. F. **A disposição irregular de resíduos da construção civil no município de São Paulo: um estudo a partir dos instrumentos de políticas públicas ambientais**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

LATTERZA, L. M. ; MACHADO JR., E. F. (1997). **Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição. Um novo material para fabricação de painéis leves de vedação**. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 28. , São Carlos v.5 , p.1967-1975.

LEAL, U. **Sobras que valem uma obra**. Revista Techne, São Paulo, v. 10, n.55, p.10-14, 2001.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para a produção e normalização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999 240p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.

LORDÊLO, P. M. et. al. **Gestão de Resíduos na Construção Civil: redução, reutilização e reciclagem**. Salvador: SENAI-BA, 2007.

MATTOS, B. **Estudo do Reuso, reciclagem e destinação final dos resíduos da construção civil na cidade do Rio de Janeiro**. Bernardo Bandeira de Mello Mattos – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2014.

MAYCÁ, J. et. al. **Contribuição ao estudo da argila expandida nacional como alternativa de agregado graúdo para concretos leves estruturais (CLE)**. 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo, Ed. PINI, 1994.

MOURA, Luiz A. A. de. **Qualidade e gestão ambiental: Sugestões para implantação das normas ISO 14.000 nas empresas**. São Paulo: Editora Oliveira Mendes, 1998.

NICOLAU, M. F., **Estudo de Viabilidade Econômica com concepção de projeto de usina de reciclagem de RCC para municípios de pequeno porte**. Trabalho para programa de Pós-Graduação (Pós-Graduação em Estrutura e Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

OLIVEIRA, T. Y. M. **Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PERINA, J. M.; TRANNIN, I. C. B. **Proposta para aproveitamento de resíduos da construção civil gerados em canteiros de obras**. Revista Online Sodebras. Guaratinguetá, v.14, p.192-197, 2019.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SÁEZ, P. V. et. al. **Assessing the accumulation of construction waste generation during residential building construction works**. Resources, Conservation and Recycling. Amsterdam, v. 93, p. 67-74, 2014.

SOUZA, Cristóvão Silva et al. **Viabilidade do concreto moldado *in loco* nas obras de habitação de interesse social**. 2021. 23 f. Monografia - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Multivix, São Mateus, 2021.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção demolição visando aplicações estruturais**. Maceió, 2007

TENÓRIO, J.A.S.; ESPINOSA, D.C.R. **Controle ambiental de resíduos**. In: TENÓRIO, J.A.S.; ESPINOSA, D.C.R. Curso de Gestão Ambiental. São Paulo: Manole, 2004. p. 155-212.

ZUNIGA, Lucas de Oliveira; SANTOS, Thais Carvalho; SILVA, Juliano Rodrigues. **Viabilidade do sistema construtivo do tipo parede de concreto para habitações populares**. Revista Mirante, Anápolis (Go), v. 10, n. 19814089, p. 89-102, jun. 2017.

ANEXO I – RELATÓRIO TECNOLÓGICO COM A GRANULOMETRIA DO MATERIAL COLETADO PARA TESTE

		AGREGADO PARA CONCRETO - AGREGADO GRÁUDO <i>Determinação da Composição Granulométrica - NBR NM 248</i>							
		CLIENTE: Eduardo Ribeirão Preto - SP RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: S9140/2023 IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL							
MATERIAL		PROCEDENCIA			DATA			HORA	
Agregado reciclado		-			25/08/2023			09:01	
Peneiramento					Faixa NBR 7211				
Peneiras		Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada	Zona Granulométrica (d/D)				
Pol.	mm				4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
3"	75	0,00	0,00	0,00				0	5
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00				5	30
2"	50	0,00	0,00	0,00				0	5
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00				5	30
1 1/4"	31,5	0,00	0,00	0,00			0	5	75
1"	25	64,55	1,46	1,46		0	5	5	25
3/4"	19	400,60	9,08	10,54		2	15	65	95
1/2"	12,5	779,66	17,67	28,22	0	5	40	65	92
3/8"	9,5	786,87	17,84	46,06	2	15	80	100	95
1/4"	6,3	1402,68	31,80	77,85	40	65	92	100	
4	4,75	419,72	9,51	87,37	80	100	95	100	
8	2,36	407,77	9,24	96,61	95	100			
Fundo		149,52	3,39	100,00	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
Massa Total		4411,37	100,00		Diâmetro Máximo = 25,00 mm				

ANEXO II – CARTA TRAÇO PARA CONCRETO FCK 15**CONCRETO - CARTA TRAÇO CONCRETO FCK 15**

Prezados Senhores,

Conforme solicitação, estamos remetendo a V.Sas., o traço de concreto a ser utilizado para obra em referência.

Quantidade de materiais secos para 1m³ de concreto:

1 – 020215001102999999 - BOMB FCK 15,0 MPA B01 ST 100±20

Cimento	=	188 Kg
Areia Fina	=	458 Kg
Areia Artificial	=	500 Kg
Brita 0	=	322 Kg
Brita 1	=	752 Kg
Água	=	196 lts

ANEXO IV – VALORES DAS TARIFAS DE ÁGUA E ESGOTO

		Valores das Tarifas de Água e Esgoto - Uso Comercial		
Valores em M ³	Valores em R\$			
CONSUMO	ÁGUA	ESGOTO (Coleta e Afastamento)	ESGOTO (Tratamento)	TOTAL
Até 10	32,84	24,57	17,20	74,61
11	37,07	27,73	19,42	84,22
12	41,30	30,89	21,64	93,83
13	45,53	34,05	23,86	103,44
14	49,76	37,21	26,08	113,05
15	53,99	40,37	28,30	122,66
16	60,36	45,14	31,64	137,14
17	66,73	49,91	34,98	151,62
18	73,10	54,68	38,32	166,10
19	79,47	59,45	41,66	180,58
20	85,84	64,22	45,00	195,06
21	94,09	70,40	49,32	213,81
22	102,34	76,58	53,64	232,56
23	110,59	82,76	57,96	251,31
24	118,84	88,94	62,28	270,06
25	127,09	95,12	66,60	288,81
26	137,43	102,88	72,02	312,33
27	147,77	110,64	77,44	335,85
28	158,11	118,40	82,86	359,37
29	168,45	126,16	88,28	382,89
30	178,79	133,92	93,70	406,41
31	191,42	143,39	100,32	435,13
32	204,05	152,86	106,94	463,85
33	216,68	162,33	113,56	492,57
34	229,31	171,80	120,18	521,29
35	241,94	181,27	126,80	550,01