

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO**

Carolina Fonseca de Farias

**REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL A PARTIR DO
CONCEITO DE PROJETO PARA DESCONSTRUÇÃO.**

Juiz de Fora

Dezembro

Carolina Fonseca de Farias

Reutilização de resíduos na construção civil a partir do conceito de projeto para desconstrução.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído.

Área de concentração: Técnicas do Ambiente Construído.

Orientadora: Prof. D.Sc. Marcos Martins Borges

Juiz de Fora

Dezembro

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca
Universitária da UFJF, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Farias, Carolina Fonseca de.

Reutilização de resíduos na construção civil a partir do conceito de projeto para desconstrução.
/Carolina Fonseca de Farias – 2024. 53 p.

Orientador: Prof. D.Sc. Marcos Martins Borges

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia.
Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2024.

1. Reutilização 2. Economia Circular. I. Borges, Marcos Martins, orient. II. Título.

Carolina Fonseca de Farias

**Reutilização de resíduos na construção civil a partir do conceito de projeto para
desconstrução.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído.

Área de concentração: Técnicas do Ambiente Construído.

BANCA EXAMINADORA

Prof. D.Sc. Marcos Martins Borges – Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dra. Eugênia Cristina Muller Giancoli
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. José Alberto Barroso Castanon
Universidade Federal de Juiz de Fora

Carolina Fonseca de Farias

Reutilização de resíduos na
construção civil: elaboração de diretrizes de projeto para desconstrução

Dissertação apresentada ao PPG Ambiente Construído,
Programa da Universidade Federal de Juiz de Fora como
requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente
Construído. Área de concentração: Ambiente Construído

Aprovada em 02 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr Marcos Martins Borges - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr. José Alberto Barroso Castanon - Membro Interno

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a) Eugênia Cristina Muller Giancoli - Membro Externo

Instituto Federa de Educação,Ciência e Tecnologia

Juiz de Fora, 18/11/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Martins Borges, Professor(a)**, em 10/12/2024, às 10:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eugênia Cristina Müller Giancoli Jabour, Usuário Externo**, em 20/12/2024, às 09:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Alberto Barroso Castanon, Professor(a)**, em 30/01/2025, às 15:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2107271** e o código CRC **0AA171C3**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador, professor D.Sc. Marcos Martins Borges, pelo acolhimento, sensibilidade e disponibilidade em me conduzir na finalização desta jornada. Sem você, este trabalho não teria sido realizado.

Ao coordenador e professor D.Sc. José Alberto Castanon, por sempre se fazer presente e solícito diante de todas as minhas inseguranças e demandas.

Aos amigos João Paulo Soares e Marcus Vinícius Ferraz, pela paciência e incentivo, vocês foram fundamentais nesta caminhada.

Aos meus colegas de trabalho da Prefeitura de Juiz de Fora, pela disponibilidade, amizade e conselhos. Vocês foram uma fortaleza para mim.

À minha mãe, por todo amor, incentivo e dedicação e por fazer, sempre, dos meus sonhos os dela.

À minha tia Peicida, por sempre se fazer presente em minha vida, pelo amor, torcida e vibrações.

À minha cachorrinha e “filha” Luna, pelo amor puro e sem medidas, que tornou a caminhada mais leve e feliz.

Às minhas amigas Anah, Ananda, Elisa, Ju, Letícia, Maria, Samira e Yane, pela amizade de sempre; vocês são essenciais na minha vida.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído (PROAC), por todos os ensinamentos.

Aos professores membros da banca, por aceitarem participar da defesa final deste trabalho.

A todos vocês, muito obrigada!

RESUMO

A construção civil é uma das atividades que mais gera resíduos sólidos, contribuindo com uma parcela significativa dos resíduos urbanos. Esta geração de resíduos cria diversas demandas em torno de como descartá-lo e como reduzir o descarte. A reutilização e reintegração destes resíduos na cadeia produtiva mostram-se como soluções viáveis para reduzir o volume descartado de resíduos e a redução na exploração de recursos naturais. Diante do exposto, o presente estudo analisa a composição dos resíduos provenientes de diversas fases da construção, destacando mais especificamente o concreto, madeira, aço, gesso, cerâmica, vidro e plástico. Os problemas e desafios enfrentados pela gestão inadequada desses resíduos incluem a superlotação de aterros e a poluição ambiental. No entanto, práticas de gestão adequadas, como a reciclagem de materiais, podem transformar esses desafios em oportunidades, promovendo a economia circular. A metodologia do presente trabalho visou a realização de uma pesquisa bibliográfica com estudos que tratam acerca do tema, selecionando três principais estudos como base para avaliação dos métodos e resultados apresentados. Foi estudado o conceito Design for X, que considera fatores como desmontagem e sustentabilidade durante o projeto da construção, proporcionando maior eficiência e efetividade na gestão de resíduos. Além disso, os trabalhos utilizados ofereceram propostas e diretrizes para a desconstrução/demolição, focando na seleção de materiais que facilitem o reaproveitamento, como sistemas construtivos modulares e tecnologias de modelagem (BIM) para otimização dos processos. A partir dos resultados alcançados, conclui-se que a adoção de práticas sustentáveis na indústria da construção civil representa uma rota promissora tanto para a redução de efeitos ambientais quanto para a inovação tecnológica. Assim, a incorporação de diretrizes de projeto para o reaproveitamento de resíduos enfatiza a viabilidade da economia circular.

Palavras-chave: Processo de projeto, gestão de resíduos, construção civil, economia circular, desconstrução.

ABSTRACT

The construction industry is one of the activities that generates the most solid waste, contributing significantly to urban waste. This waste generation creates numerous demands concerning how to dispose of it and reduce disposal. The reuse and reintegration of this waste into the production chain have proven to be viable solutions for reducing discarded waste volume and decreasing the exploitation of natural resources. In this context, this study analyzes the composition of waste from various construction phases, specifically highlighting concrete, wood, steel, plaster, ceramics, glass, and plastic. The problems and challenges caused by inadequate management of these wastes include landfill overcrowding and environmental pollution. However, proper management practices, such as material recycling, can turn these challenges into opportunities, promoting a circular economy. This study's methodology involved conducting a bibliographic review of studies on the topic, selecting three primary studies as the basis for evaluating the methods and results presented. The concept of Design for X was studied, which considers factors such as disassembly and sustainability during the construction design, providing greater efficiency and effectiveness in waste management. Furthermore, the studies provided proposals and guidelines for deconstruction/demolition, focusing on selecting materials that facilitate reuse, such as modular construction systems and modeling technologies (BIM) for process optimization. Based on the results obtained, it is concluded that the adoption of sustainable practices in the construction industry represents a promising route for both reducing environmental impacts and fostering technological innovation. Thus, the incorporation of design guidelines for waste reuse demonstrates the feasibility of the circular economy.

Keywords: Design process, waste management, construction industry, circular economy, deconstruction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Caracterização e classificação de resíduos segundo a NBR 10004:2004	13
Figura 2 - Ciclos técnico e biológico da economia circular	24
Figura 3 – Design for X: Fluxograma de funções	39
Figura 4 – Design for X: Fluxograma operacional.....	39
Figura 5 – Modelo integrado do produto dentro da metodologia BIM	434

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de resíduos de acordo com o tipo	37
Tabela 2 - Diretrizes de Projeto para Desconstrução com Enfoque em Economia Circular	41
Tabela 3 – Bases utilizadas nos estudos	42
Tabela 4 – Comparação dos Estudos de Caso sobre Desconstrução e Economia Circular	43
Tabela 5 – Indicadores Comparativos dos Estudos de Caso Analisados.....	436

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

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

BIM - *Building Information Modeling*

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CNI - Confederação Nacional da Indústria

DfX - *Design for X*

E - Eficiência Energética

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IOT - *Iron Ore Tailings* (Rejeitos de Minério de Ferro)

NBR - Norma Brasileira

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

PGRS - Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PGRCC - Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

PIB - Produto Interno Bruto

PPD - Projeto para Desmontagem

R - Reaproveitamento de resíduos

RCD - Resíduos Sólidos da Construção e Demolição

RS - Resíduos Sólidos

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

S - Sustentabilidade

SciELO - *Scientific Electronic Library Online*

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1.	Justificativa	12
1.2.	Objetivos.....	14
	1.2.1. Objetivo Geral.....	14
	1.2.2. Objetivos Específicos.....	14
1.3.	Estrutura do trabalho	14
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1.	Considerações iniciais.....	15
2.2.	Sustentabilidade	17
	2.2.1. Conceito	17
	2.2.2. Sustentabilidade aplicada à construção civil: reciclagem de resíduos e desenvolvimento sustentável.....	19
	2.2.3. A construção sustentável.....	20
	2.2.4. Projeto para desmontagem	21
2.3.	Economia Circular	23
2.4.	Engenharia Simultânea.....	25
	2.4.1. Integração na Reutilização de Resíduos e Economia Circular.....	27
3.1.	Revisão Bibliográfica	30
3.2.	Estudos de caso	31
	3.2.1. Estudo de Caso 1: Saraiva (2013).....	31
	3.2.2. Estudo de Caso 2: Carvalho (2018).....	32
	3.2.3. Estudo de Caso 3: Fajardo (2023).....	33
3.3.	Integração dos estudos de caso.....	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1.	Análise dos Resíduos na Construção Civil.....	35
4.2.	Design for X e economia simultânea.....	37
4.3.	Propostas de diretrizes de projeto para desconstrução	39
4.4.	Ciclo Técnico da Economia Circular e Diretrizes de Reaproveitamento	42
4.5.	Reflexões sobre a transformação da Sustentabilidade na Construção Civil.....	45
4.6.	Indicadores de Análise dos Estudos de Caso	426
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil está atrelado ao mercado de extração, beneficiamento e produção de insumos minerais, muitos destes obtidos em jazidas dentro de áreas que anteriormente eram biomas intocados (TAIPALE, 2012). Destaca-se as alterações em biomas que afetam direta e indiretamente toda uma cadeia regional, como corpos hídricos e núcleos florestais em seu entorno (TUAUM *et al.*, 2018).

Devido ao constante crescimento deste mercado/setor, nota-se, por consequência, o aumento da demanda por um de seus principais insumos, os materiais minerais (RAJABIPOUR *et al.*, 2010). Sendo estes recursos minerais finitos, tem-se a diminuição da oferta destes materiais. Ressalta-se como outro obstáculo encontrado, o logístico, uma vez que, o transporte destes insumos para grandes centros urbanos e/ou localidades isoladas ou distantes das áreas de extração, tende a encarecer os mesmos, além dos diversos outros problemas e desgastes causados durante o processo de transporte (HOMAYOONMEHR *et al.*, 2021).

Assim, a ideia de reaproveitamento de resíduos minerais derivados de atividades correlatas a construção civil se mostra viável ao atendimento das demandas deste setor, garantindo seu abastecimento, e, conseqüentemente, mantendo os valores acessíveis. Alguns dos setores que mais contribuem para este mercado são os de produção de insumos para acabamentos e rochas ornamentais em geral. Estes setores produzem um volume considerável de resíduos, em sua totalidade minerais, cujas propriedades principais não foram comprometidas, excetuando suas dimensões e formas (RODRIGUES *et al.* 2022).

Além dos ganhos logísticos e financeiros, do ponto de vista da economia e do reaproveitamento de resíduos antes inservíveis, a utilização de meios alternativos de reinserção de materiais residuais na cadeia produtiva, como parte da matéria-prima, contribui para a conservação e preservação dos recursos naturais, de onde grande parte destes são retirados. Os ganhos ambientais destas práticas são de grande valor, uma vez que, as áreas utilizadas para este tipo de exploração sofrem impactos permanentes, indo, desde a supressão da vegetação nativa, ao empobrecimento do solo, alterações topográficas e paisagísticas significativas e destruição de micro biomas, responsáveis pela manutenção de diversas espécies da fauna e flora da região. Ademais, cabe citar que as alterações nestes biomas afetam direta e indiretamente toda uma cadeia regional, como corpos hídricos e núcleos florestais em seu entorno (TUAUM *et al.*, 2018).

1.1. Justificativa

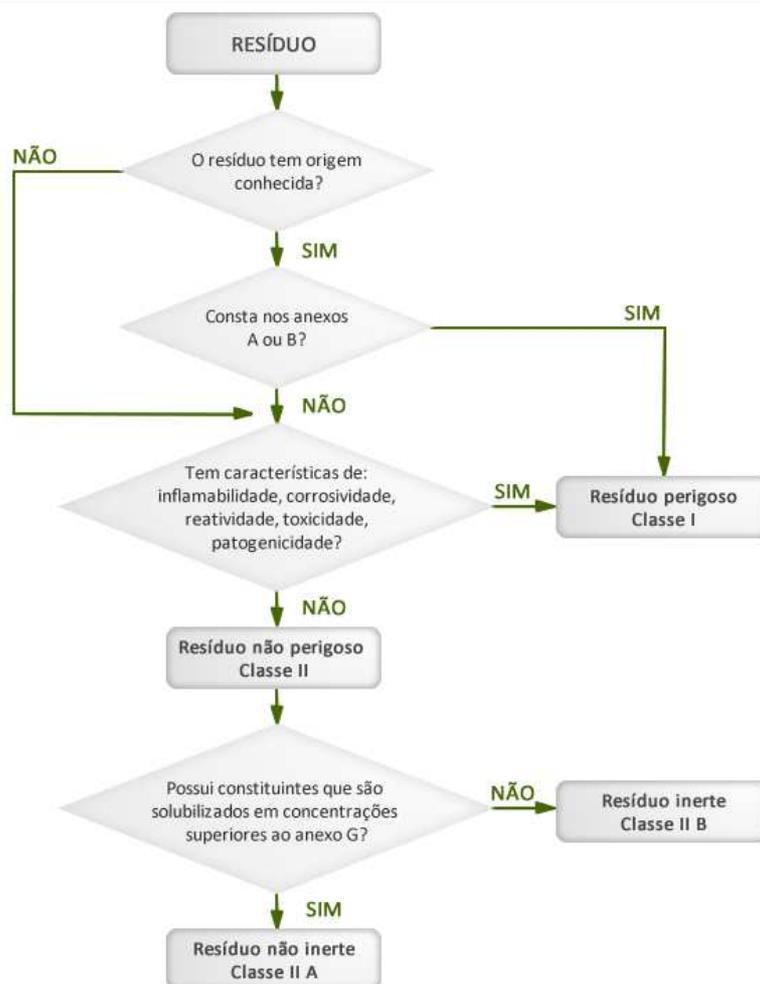
O setor da construção civil é um dos principais consumidores de insumos minerais, provenientes de jazidas frequentemente localizadas em áreas de biomas anteriormente intocados. Essa extração tem gerado modificações substanciais no ambiente natural, afetando biomas inteiros, corpos hídricos e núcleos florestais, com impactos adversos diretos e indiretos em toda a cadeia ecológica regional (SANTOS *et al.*, 2018).

Além dos impactos ambientais citados, a extração e o transporte de materiais minerais enfrentam desafios logísticos que aumentam os custos e limitam a oferta de insumos. Com o crescimento contínuo da construção civil, a demanda por materiais minerais tem superado a capacidade de oferta dos recursos naturais disponíveis para uso. O transporte desses materiais para grandes centros urbanos ou regiões distantes das áreas de extração resulta em custos elevados, tornando a sustentabilidade econômica um obstáculo para o setor, tanto do ponto de vista econômico quanto sustentável (YELLISHETTY e MUDD, 2014).

A proposta de reaproveitamento de resíduos minerais é uma solução viável para mitigar os problemas mencionados, uma vez que, setores como o de produção e beneficiamento de rochas ornamentais geram grandes volumes de resíduos minerais que possuem valor como matéria prima. Estes resíduos, apesar de estarem reduzidos em dimensão e forma, mantêm propriedades minerais intactas e podem ser reintegrados na cadeia produtiva, contribuindo para a redução da demanda por novos recursos e diminuindo os custos logísticos associados ao transporte de materiais (SANTOS *et al.*, 2019).

A Figura 1 trata do fluxograma utilizado para classificação dos resíduos, segundo a NBR 10004:2004.

Figura 1 – Caracterização e classificação de resíduos segundo a NBR 10004:2004



Fonte: ABNT NBR 10004:2004

Os anexos A a H da ABNT NBR 10004:2004 estabelecem orientações detalhadas para a categorização de resíduos. O Anexo A discute critérios de identificação e técnicas de análise para resíduos perigosos e não perigosos, ao passo que os Anexos B e C definem listas de substâncias nocivas e poluentes. O Anexo D estabelece as características dos resíduos perigosos, tais como toxicidade e inflamabilidade. Os Anexos E e F definem os limites de concentração de compostos em testes de lixiviação e solubilização, utilizados para avaliar a periculosidade dos detritos. O Anexo G estabelece normas para a análise de solubilidade e o Anexo H estabelece códigos para resíduos não perigosos, tais como sucatas e resíduos orgânicos, com o objetivo de simplificar a sua administração. Estes anexos são fundamentais para o funcionamento adequado, gerenciamento e descarte de resíduos conforme os padrões de segurança ambiental.

Tendo em vista que estes resíduos não oferecem qualquer tipo de risco ou

ameaça ao ambiente, devido ao fato destes materiais, apesar dos processos de beneficiamento, em sua maioria não são descaracterizados a ponto de representarem um corpo estranho no meio. Este fato faz com que o reaproveitamento destes materiais seja seguro e simplificado, tornando sua reinserção na cadeia produtiva segura e econômica (CARVALHO, 2018).

1.2. Objetivos

Neste subtópico são tratados, de forma resumida, os objetivos buscados com esta pesquisa, sendo divididos no principal objetivo a ser alcançado e os objetivos secundários, consequenciais do estudo principal.

1.2.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo estudar alternativas de reaproveitamento de resíduos da construção civil a partir de uma perspectiva do processo de projeto.

1.2.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Estabelecer dentro da premissa do trabalho, um modelo de avaliação para a eficácia do reaproveitamento de resíduos na construção civil, considerando tanto aspectos técnicos quanto a aceitação do mercado;
- Recomendar técnicas e metodologias de implementação e gestão para a integração de resíduos minerais em projetos de construção.

1.3. Estrutura do trabalho

A estrutura do trabalho segue a sequência dos temas abordados, com o objetivo de construir melhor entendimento acerca das alternativas de reaproveitamento de resíduos e suas implicações para a sustentabilidade e eficiência no setor da construção civil. Desta forma, a estrutura do trabalho divide-se em:

- Introdução: estabelece o contexto e a relevância do tema, apresentando uma

visão geral sobre o impacto ambiental da construção civil e a necessidade de alternativas sustentáveis para o reaproveitamento de resíduos;

- **Revisão Bibliográfica:** fornece a base teórica necessária para compreender o tema. Neste capítulo, são explorados conceitos fundamentais relacionados à sustentabilidade, a aplicação da reciclagem de resíduos na construção civil, a construção sustentável e a economia circular;
- **Metodologia de pesquisa:** detalha os métodos e procedimentos utilizados na pesquisa, incluindo a abordagem para a coleta e análise de dados, bem como a avaliação das alternativas de reaproveitamento de resíduos;
- **Resultados e Discussões:** apresenta os resultados da pesquisa, discutindo a viabilidade das alternativas propostas e os impactos econômicos e ambientais identificados;
- **Considerações finais:** sintetiza as principais conclusões da pesquisa e propõe recomendações práticas para a implementação de métodos e técnicas de reaproveitamento destes resíduos na construção civil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Buscando dar embasamento teórico a pesquisa, o presente estudo utilizou-se de diversos estudos, artigos, legislações, normas e pesquisas, internacionais e nacionais, com base no tema proposto.

2.1. Considerações iniciais

O crescimento populacional e o aumento da demanda por conforto, infraestrutura urbana e moradias — fatores que se influenciam mutuamente — têm levado à expansão na exploração e uso de diversos recursos naturais, especialmente os de origem mineral, amplamente utilizados nesses empreendimentos. A exploração intensa de recursos naturais, impulsionada pela alta demanda, leva à sua escassez e pode gerar problemas sociais, econômicos e ambientais. Em vista disso, a inserção de mecanismos e dispositivos que facilitem e viabilizem o reaproveitamento destes recursos, já extraídos e utilizados, reinserindo-os na cadeia de produção, seja para o mesmo fim ou oferecendo-lhes um novo destino, reduz a dependência de suas fontes

primárias e contribuem para a preservação do meio ambiente (ONOFRE, 2016; REIS e ALVAREZ, 2007).

Tendo em vista que todo e qualquer processo, em qualquer setor, possui passivos, e, seja de forma direta ou indireta, gera resíduos, o mercado de resíduos minerais em geral e de beneficiamento de rochas para construção civil pode ser um bom exemplo de empreendimento com um grande passivo ambiental, sendo responsável por cerca de 50 a 70% dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. Para além do citado, o setor é um dos maiores agentes degradadores, uma vez que, a maior parte de suas atividades resultam em modificação da paisagem, intervenção em biomas, geração de resíduos diversos, inertes, em sua grande maioria, e, indiretamente, exploração de recursos naturais diversos (ALMEIDA *et al.*, 2020).

Segundo Lopes (2019), a construção civil desempenha um papel fundamental no mercado de trabalho em geral, desde produtos e serviços à insumos, como componentes de acabamento e outros. O setor gera empregos de forma direta e indireta e investe anualmente em ferramentas de gestão e novas tecnologias para melhorias estruturais, urbanísticas e econômicas. No entanto, é importante destacar que esta também é uma das atividades que mais consomem recursos naturais, com valores de 40 à 75% das fontes primárias exploradas pelo setor a nível nacional e global.

Sendo um mercado que contribui com 5,2% do PIB nacional, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), em contraste com o cenário pós pandemia, onde esta contribuição, em 2020, foi de 6,3%, e, ao final do primeiro semestre de 2022, estava em 9,7%; entende-se que impedir seu funcionamento, além de ser inviável, do ponto de vista civilizacional, seria significativamente negativo, numa perspectiva socioeconômica, uma vez que gera empregos diretos e indiretos e está ligado à subsistência de uma grande parcela da população. Frente a isto, entende-se que alternativas devem ser buscadas, entre elas estão as técnicas construtivas que busquem integrar as edificações ao ambiente e o reaproveitamento de insumos e resíduos em novas ou na mesma cadeia de produção.

Segundo dados do panorama da situação dos resíduos sólidos no Brasil, elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020), para o ano de 2019 foram contabilizados 56% de Resíduos Sólidos da Construção e Demolição (RCD) e resíduos minerais advindos de atividades fabris, como marmorarias, no montante de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados. Este valor equivale a, aproximadamente, 44,5 milhões de toneladas de

Resíduos deste tipo por ano, de um total de 79 milhões de toneladas de RSU.

Alternativas sustentáveis são necessárias e economicamente atrativas na construção civil, reduzindo custos com obras, oferecendo inovações tecnológicas criativas e com fácil aceitação do público. A crescente preocupação com o meio ambiente torna hábitos e técnicas sustentáveis atraentes tanto para empresas quanto para consumidores finais (REIS e ALVAREZ, 2007).

2.2. Sustentabilidade

O setor da construção civil, notoriamente um dos maiores consumidores de recursos naturais e gerador significativo de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), necessita minimizar seu impacto ambiental enquanto continua a atender às crescentes demandas por infraestrutura e moradias. Esta demanda ocorre devido à modernização dos sistemas construtivos, o aumento populacional e a contínua expansão urbana e, em contrapartida, o aumento da demanda por sistemas que respeitem o meio ambiente e que busquem técnicas e métodos sustentáveis para sua aplicação. A adoção de práticas sustentáveis envolve a implementação de métodos de construção que reduzem a exploração de recursos primários, promovem a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos, e incentivam o uso de materiais alternativos e ecoeficientes (CARDOSO *et al.*, 2021).

Iniciativas como a economia circular e a construção sustentável, que integram processos de reciclagem de resíduos e desenvolvimento sustentável, são essenciais para mitigar os efeitos negativos da atividade construtiva sobre o meio ambiente. Dessa forma, métodos e técnicas sustentáveis e de reaproveitamento dentro da construção civil contribuem para a conservação dos recursos naturais e proporcionam benefícios econômicos ao reduzir os custos operacionais, criando oportunidades para inovações tecnológicas que são atrativas tanto para as empresas, que, por sua vez buscam atender às demandas dos consumidores finais (CHIODI FILHO, 2018).

2.2.1. Conceito

Sustentabilidade é um conceito abrangente, que visa atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprirem suas próprias necessidades, buscando reaproveitar ao máximo recursos que já estiveram na cadeia de uso, e evitando ao máximo introduzir novos elementos à um sistema. Dentro da

construção civil, a sustentabilidade abrange práticas e princípios que promovem a eficiência no uso dos recursos naturais, a redução dos impactos ambientais e a criação de ambientes construídos saudáveis e resilientes às mudanças e necessidades. Isso implica a integração de estratégias que vão desde a escolha de materiais de baixo impacto ambiental e a eficiência energética, até a gestão eficaz de resíduos, além da busca direta ou indireta da conservação da biodiversidade e dos recursos naturais (DANISH *et al.*, 2021).

A aplicação prática da sustentabilidade na construção civil envolve a adoção de técnicas, hábitos e práticas que minimizam a extração de recursos naturais, promovendo a utilização de materiais reciclados e recicláveis. A aplicação de tecnologias como a reciclagem de RCD e a reutilização de resíduos industriais, como os provenientes de marmorarias, torna-se um fator de extrema importância para a redução do consumo de recursos obtidos em biomas virgens. Além disso, a implementação de sistemas de gestão de resíduos que priorizam a segregação e o tratamento adequado dos resíduos gerados durante as atividades de construção é essencial para a minimização do impacto ambiental causado por tais práticas (CARDOSO *et al.*, 2021).

A eficiência energética é um fator fundamental na aplicação da sustentabilidade na construção civil, tendo em vista que, a redução do consumo dentro do campo de obras com a mesma eficiência de produtividade resulta em uma economia de recursos energéticos. Isso abrange a utilização de técnicas construtivas que maximizam a eficiência térmica dos edifícios, reduzindo a necessidade de aquecimento e resfriamento artificial. Tecnologias como a incorporação de isolamento térmico adequado, o uso de janelas de alto desempenho e a implementação de sistemas de energia renovável, como painéis solares, são práticas que contribuem significativamente para a redução do consumo energético das edificações (DOS SANTOS *et al.*, 2021).

A conservação da biodiversidade e a proteção dos ecossistemas, bem como o aumento de áreas verdes e da compensação ambiental por intervenções em ecossistemas são aspectos igualmente importantes no processo de implantação da sustentabilidade na construção civil. Projetos que incorporam a manutenção de áreas verdes, a preservação de habitats naturais e a integração de soluções baseadas na reconstituição florística e recuperação ambiental, como telhados verdes e paredes vivas, ajudam a mitigar os efeitos adversos da urbanização. Além disso, a restauração de áreas degradadas e a implementação de corredores ecológicos dentro dos empreendimentos e seus arredores podem promover a conectividade ecológica e a resiliência ambiental dentro dos ecossistemas urbanos (FAJARDO, 2023).

2.2.2. Sustentabilidade aplicada à construção civil: reciclagem de resíduos e desenvolvimento sustentável

A aplicação da sustentabilidade na construção civil, através da reciclagem de resíduos, do desenvolvimento sustentável e da implantação de práticas e técnicas sustentáveis dentro do canteiro de obras, é essencial para mitigar os impactos ambientais e promover um uso mais eficiente dos recursos. A reciclagem de RCD é o carro chefe nesse processo, tendo em vista que, este tipo de resíduo são a maior parte do volume de material produzido pelo setor. Materiais como concreto, tijolos, madeira, vidro e metais, quando devidamente segregados e processados, podem ser reintroduzidos na cadeia produtiva, reduzindo a necessidade de extração de novos recursos e minimizando o volume de resíduos destinados a aterros (FERNANDES *et al.*, 2020).

A implementação de usinas de reciclagem de RCD e a utilização de tecnologias avançadas para o processamento desses resíduos são práticas que contribuem significativamente para a aquisição destes materiais. Esses processos permitem a transformação de resíduos em novos produtos, como agregados reciclados, que podem ser utilizados em diversas aplicações, desde a pavimentação de estradas até a produção de concreto. Além disso, a reutilização de resíduos industriais, como os advindos da produção e beneficiamento de rochas ornamentais e materiais de acabamento, pode ser integrada na fabricação de materiais de construção, tendo em vista que, a produção de acabamentos e estruturas em pedras ornamentais é parte significativa desta cadeia (FREITAS e MEYER, 2022).

O desenvolvimento sustentável na construção civil também envolve a adoção de práticas de construção sustentável, que incluem a eficiência energética, a gestão da água, e o uso de materiais ecoeficientes. Edificações projetadas com base em princípios de sustentabilidade têm por objetivo principal maximizar o desempenho ambiental ao longo de todo o ciclo de vida do edifício. Isso inclui desde a fase de concepção, com o uso de materiais de baixa emissão de carbono e de origem ambientalmente amigável, até a operação, com sistemas de energia renovável e gestão eficiente de recursos. Tais práticas não só reduzem o impacto ambiental, mas também resultam em edificações mais saudáveis e economicamente viáveis a longo prazo (LEÃO, 2021).

A gestão da água é outro componente de grande importância, que por sua vez, compõe o sistema de sustentabilidade aplicada à construção civil. Sistemas de coleta e

reutilização de águas pluviais, tecnologias de tratamento de águas residuais e a utilização de equipamentos de baixo consumo hídrico são estratégias que contribuem para a conservação dos recursos hídricos. A implementação de paisagismo natural, que inclui o uso de plantas nativas e técnicas de irrigação eficientes (em geral utilizando água pluvial e gravidade), também ajuda a reduzir a demanda por água e a conservar os biomas locais (LIBERALINO *et al.*, 2020).

A integração de conceitos de economia circular na construção civil é de grande importância para a gestão de recursos e para a implantação de uma construção sustentável. A economia circular promove a utilização contínua de recursos, minimizando o desperdício e incentivando a reutilização e a reciclagem. Este modelo contrasta com o sistema linear tradicional de "extrair, usar e descartar" e busca criar um ciclo fechado de materiais. Na construção civil, isso pode ser visto na prática de "construir para desconstruir", onde os edifícios são projetados para facilitar a desmontagem e a reutilização de seus componentes, prolongando assim a vida útil dos materiais e reduzindo a geração de resíduos (PAULA *et al.*, 2016).

2.2.3. A construção sustentável

Uma construção sustentável engloba práticas e técnicas que visam minimizar os impactos ambientais e maximizar a eficiência dos recursos utilizados ao longo do ciclo de vida das edificações. Este enfoque começa na fase de planejamento e projeto, onde a seleção de materiais ecoeficientes, como madeiras certificadas, materiais provenientes de processos de reciclagem e/ou reaproveitamento, concreto reciclado e tintas de baixa emissão de compostos orgânicos voláteis, são de grande importância para a implementação deste sistema. O uso de técnicas de construção modular e pré-fabricada também contribui para a sustentabilidade, ao reduzir o desperdício de materiais e aumentar a eficiência na obra, buscando utilizar apenas o necessário, pelo tempo necessário e com o mínimo de produção de ruídos e afins (PINTO e SOUZA, 2020).

Conforme já mencionado, a eficiência energética é de grande importância para a implantação de uma construção sustentável. Edifícios projetados para serem energeticamente eficientes utilizam ferramentas como a orientação solar, o isolamento térmico eficiente e a ventilação natural para reduzir a necessidade de aquecimento e resfriamento artificial. Além disso, a integração de sistemas de energia renovável, como painéis solares e turbinas eólicas, permite que os edifícios gerem sua própria energia,

diminuindo a dependência de fontes não renováveis e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (QUEIROZ e CASTRO, 2019).

Sistemas de captação e reutilização de águas pluviais, além de tecnologias para a redução do consumo de água, como torneiras e chuveiros de baixo fluxo, contribuem significativamente para a conservação dos recursos hídricos. A implementação de sistemas de tratamento e reutilização de águas cinzas, provenientes de pias e chuveiros, para fins não potáveis, como irrigação, limpeza de pátios, irrigação de jardins e descarga de vasos sanitários, é uma prática que melhora a eficiência hídrica dos edifícios (RIVETTI *et al.*, 2024).

A qualidade do ambiente interno é um aspecto essencial a ser observado, pois impacta diretamente a saúde e o bem-estar dos ocupantes, uma vez que, a qualidade estética de um ambiente está diretamente associada à qualidade de vida, saúde mental e física do indivíduo. A utilização de materiais com baixa emissão de toxinas, a ventilação adequada e a iluminação natural são elementos que melhoram a qualidade do ar interno e o conforto dos usuários. Edifícios que priorizam esses aspectos tendem a proporcionar ambientes mais saudáveis e produtivos, resultando em benefícios sociais e econômicos significativos (DOS SANTOS *et al.*, 2021).

A gestão de resíduos, tanto estruturais quanto de vedação e/ou acabamento, durante a construção e a operação dos edifícios baseia-se na implementação de práticas de redução, reutilização e reciclagem de resíduos na obra minimiza o impacto ambiental e promove a economia circular. Durante a fase de operação, a adoção de políticas de gestão de resíduos, como a compostagem de resíduos orgânicos e a separação para reciclagem, contribui para a sustentabilidade contínua do edifício. Estes métodos podem ser adotados através de políticas internas de coleta seletiva e implantação de áreas verdes em condomínios e conjuntos habitacionais (BRANCO e SOUZA, 2017).

Uma construção sustentável também envolve o uso de tecnologias inteligentes e sistemas de automação para monitorar e controlar o consumo de recursos. Edifícios inteligentes utilizam sensores e sistemas de gestão de energia para otimizar o uso de eletricidade, água e outros recursos, ajustando automaticamente as condições internas conforme necessário. Esta abordagem não só melhora a eficiência energética, mas também aumenta a durabilidade dos sistemas e equipamentos, prolongando a vida útil do edifício e reduzindo os custos de manutenção (QUEIROZ e CASTRO, 2019).

2.2.4. Projeto para desmontagem

O termo *Design for X* (DfX) se refere a um conceito que incorpora diversas abordagens metodológicas no processo de projeto que leva em conta diversos critérios (ou variáveis) essenciais para o êxito de um projeto, tais como desmontagem, manutenção, segurança e sustentabilidade. No DfX, o "X" representa os diversos elementos que podem ser aprimorados durante o processo de projeto. No âmbito da construção civil, o DfX vem ganhando destaque, particularmente quando se considera o Projeto para Desmontagem (PPD) e a reciclagem de materiais, conforme discutido no estudo de Carvalho (2018).

Uma aplicação prática do DfX, o *Design for Deconstruction* (DfD), ou Projeto para Desmontagem, é particularmente relevante para a construção sustentável. Este conceito é um tipo de abordagem utilizado na construção civil que visa facilitar a desmontagem e a reutilização de componentes e materiais de edificações ao final de sua vida útil. Esta metodologia envolve a criação de estruturas que podem ser facilmente desmontadas sem causar danos significativos aos materiais, permitindo que eles sejam reaproveitados em novos projetos. O DfD é uma prática alinhada com os princípios da economia circular, reduzindo a quantidade de resíduos enviados para aterros e diminuindo a demanda por recursos naturais virgens (SARAIVA, 2013).

Um dos principais aspectos do projeto para desmontagem é a escolha de materiais e técnicas de construção que favoreçam a desmontagem. Isso inclui o uso de conexões mecânicas, como parafusos e encaixes, em vez de adesivos e soldas, que dificultam a separação dos componentes. Além disso, a modularidade dos elementos construtivos é fundamental, permitindo que partes do edifício possam ser removidas e reutilizadas em novas construções sem necessidade de grandes adaptações. Essa técnica não só facilita a desmontagem, mas também permite a flexibilidade no design, adaptando-se às mudanças nas necessidades dos ocupantes ao longo do tempo (BANDEIRA, 2019).

A documentação detalhada do projeto é crucial para o sucesso do DfD. Um registro completo de todos os materiais e métodos de construção utilizados, incluindo instruções claras sobre como desmontar cada componente, sendo esta uma ferramenta de gestão que necessita estar presente em uma construção sustentável, assim, é essencial para garantir que o processo de desmontagem seja eficiente e seguro. Esta documentação deve ser mantida ao longo da vida útil do edifício e acessível a todos os envolvidos na sua eventual desmontagem. O uso de tecnologias digitais, como Modelagem da Informação da Construção (BIM), pode facilitar a criação e a

manutenção desses registros, proporcionando um As Built com uma visão eficiente e completa da edificação (FAJARDO, 2023).

A consideração da desmontagem durante a fase de projeto também pode influenciar a escolha do layout de obra e da organização espacial do edifício. A exemplo da criação de espaços que permitam fácil acesso aos principais sistemas e componentes do edifício pode facilitar a sua manutenção e desmontagem. Além disso, a integração de elementos reutilizáveis ou reconfiguráveis, como divisórias móveis e sistemas de mobiliário modular, pode aumentar a flexibilidade do espaço ao longo do tempo, adaptando-se a novas funções e reduzindo a necessidade de grandes reformas e/ou demolições (LEÃO, 2021).

A implementação do DfD também exige uma mudança cultural e educacional dentro do setor da construção. Arquitetos, engenheiros, construtores e proprietários/moradores de edifícios necessitam de uma conscientização acerca dos benefícios ambientais e econômicos do projeto para desmontagem, bem como o quão valioso isso é para os mesmos. Isso inclui a promoção de técnicas e práticas de construção sustentável e a adoção de políticas que incentivem a reutilização de materiais. Programas de treinamento e certificação em DfD podem ajudar a desenvolver as habilidades necessárias para projetar e construir edificações que sejam comprovadamente sustentáveis ao longo de todo o seu ciclo de vida (CARDOSO *et al.*, 2021).

2.3. Economia Circular

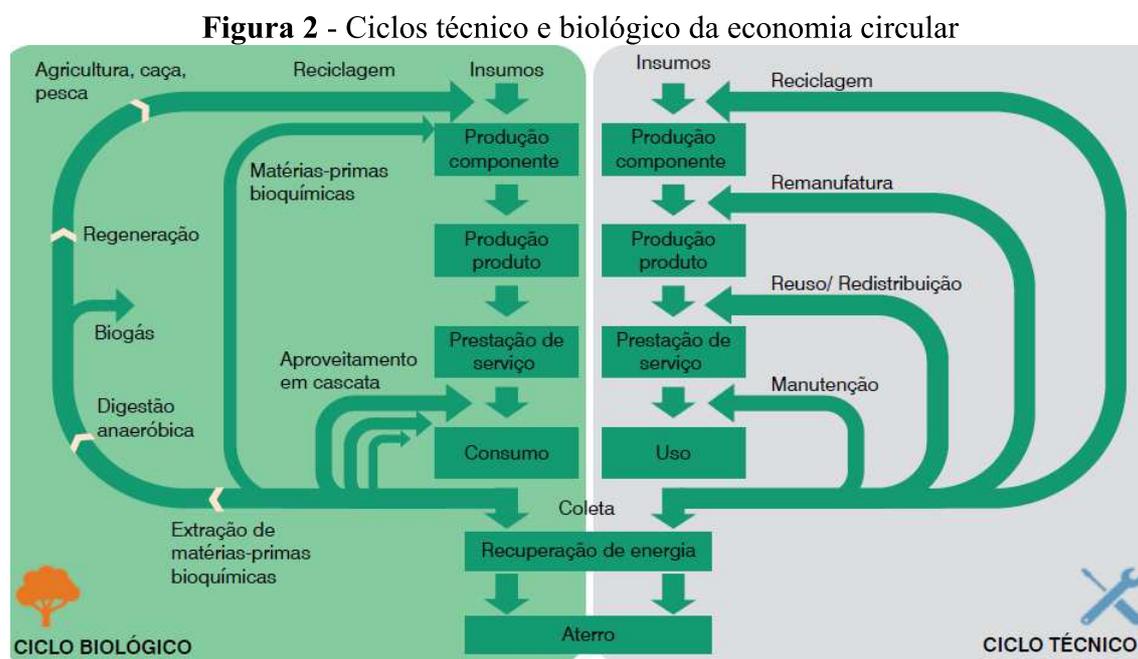
A economia circular é um modelo econômico que busca a sustentabilidade através da maximização da reutilização de recursos e da minimização de resíduos. Diferente do modelo econômico linear tradicional, que segue o ciclo de extração, produção, consumo e descarte, a economia circular propõe um sistema regenerativo e restaurativo por design. Isso implica em fechar os ciclos de vida dos produtos, materiais e recursos, criando um fluxo contínuo de reutilização e reciclagem que reduz a dependência de matérias-primas virgens e a geração de resíduos (BRANCO e SOUZA, 2017).

Um dos pilares fundamentais da economia circular é o design de produtos e processos que facilitam a desmontagem, a reparação, a reutilização e a reciclagem. Isso inclui a seleção de materiais duráveis, não tóxicos e recicláveis, bem como o

desenvolvimento de produtos modulares e adaptáveis. A inovação no design de produtos desempenha um papel crucial, pois permite que os componentes sejam facilmente separados e reutilizados ao final de sua vida útil, prolongando a vida dos materiais e minimizando a necessidade de novos recursos (QUEIROZ e CASTRO, 2019).

A implementação da economia circular na construção civil envolve a adoção de práticas que promovem a reutilização e reciclagem de materiais descartados no canteiro de obras. Isso pode incluir a utilização de materiais reciclados, a recuperação de materiais de demolições e reformas, e a incorporação de componentes reutilizáveis em novos projetos. Um exemplo deste conceito na prática é o uso de concreto reciclado, aço reutilizado e madeira recuperada pode reduzir significativamente o impacto ambiental da construção, além de diminuir os custos associados à aquisição de novos materiais. A gestão eficiente dos RCD é essencial para fechar o ciclo de materiais no setor da construção (SARAIVA, 2013).

A Figura 2 ilustra os ciclos técnico e biológico dentro da economia circular.



Fonte: Ellen Macarthur Foundation (2013a), adaptado por CNI (2017)

Este modelo econômico também incentiva a criação de novos modelos de negócios que suportem a sustentabilidade. Isso inclui o desenvolvimento de serviços de leasing e compartilhamento de equipamentos e materiais de construção, em vez da compra e propriedade individual. Tais modelos podem reduzir a necessidade de

produção de novos itens, maximizar a utilização dos recursos existentes e promover uma cultura de manutenção e reparo, prolongando a vida útil dos produtos. Além disso, a implementação de sistemas de retorno e recompra para materiais e componentes de construção pode facilitar a reintegração desses itens no ciclo produtivo (RIVETTI *et al.*, 2024).

A redução da demanda por matérias-primas virgens pode diminuir os custos de produção e aumentar a competitividade das empresas. A criação de empregos na indústria de reciclagem, reparo e remanufatura pode impulsionar a economia local e melhorar a resiliência das comunidades (LIBERALINO *et al.*, 2020).

2.4. Engenharia Simultânea

Para que uma empresa tenha sucesso no atual cenário econômico brasileiro é essencial realizar um bom planejamento de processos. Nos Estados Unidos, metade das empresas fecham em até quatro anos de atividade, enquanto na Europa a expectativa média de vida das empresas é de doze anos. Em São Paulo, 32% das empresas encerram suas atividades no primeiro ano, a cada 100 novas empresas abertas. Segundo Muniz Junior *et al.* (2012), em nível federal, 50% das empresas encerram suas operações nos primeiros dois anos de existência. O principal fator que leva ao fechamento das empresas é a incapacidade de acompanhar processos rápidos e inovadores, seja no produto ou na gestão. Uma ferramenta que tem se mostrado eficiente no auxílio para resolver esse problema é a engenharia simultânea, que envolve a execução colaborativa das diferentes fases de um projeto, permitindo que várias funções de engenharia sejam realizadas de maneira paralela.

Engenharia simultânea é um termo criado para um método contemporâneo de criação de projetos que visa coordenar e sincronizar todas as etapas de um projeto, desde o seu planejamento até a sua conclusão final. Ao contrário do modelo convencional, onde as fases ocorrem sequencialmente e frequentemente de forma isolada, a engenharia simultânea incentiva a cooperação entre diversas disciplinas e setores participantes do processo, visando aprimorar o tempo, os recursos e a qualidade dos resultados. A premissa base dessa ferramenta de gestão é que, ao unir diversas etapas do projeto ao mesmo tempo, é possível diminuir retrabalhos, prever soluções para eventuais problemas e, conseqüentemente, aprimorar a eficácia total do projeto (MOURA, 2018).

A engenharia simultânea teve suas bases identificadas na indústria japonesa nas décadas seguintes ao término da Segunda Guerra Mundial (WWII), embora o conceito, como o conhecido atualmente, tenha se consolidado nos anos 1980. Essa consolidação ocorreu a partir de um estudo iniciado em 1982 pela DARPA (*Defense Advanced Research Project Agency*), cujos resultados foram publicados por Winner *et al.* (1988). Nesse estudo, os autores definiram a engenharia simultânea como uma abordagem sistemática para o desenvolvimento integrado de um produto e de todos os processos relacionados, abrangendo desde a fase de projeto até o suporte.

O objetivo dessa metodologia/ferramenta é garantir que todos os envolvidos no processo de desenvolvimento considerem aspectos indispensáveis, como qualidade, custos, testes, fabricação, montagem, prazos e requisitos dos clientes em todas as etapas do ciclo de vida do produto. Ferreira *et al.* (2011) destacou que a engenharia simultânea é mais um modelo de gestão de projetos do que apenas um conjunto de inovações tecnológicas.

Este método, quando empregado em projetos de infraestrutura, possibilita a colaboração entre arquitetos, engenheiros, gestores e fornecedores desde o começo. Isso permite a implementação de medidas mais sustentáveis, como a reutilização de materiais de construção, a diminuição de resíduos no local de construção e a aplicação de tecnologias avançadas que diminuem os efeitos negativos ao meio ambiente. A multidisciplinaridade da engenharia simultânea visa facilitar a incorporação de princípios ecológicos no planejamento inicial do projeto, tornando mais viável a implementação de práticas controladas durante todo o ciclo de vida da construção (SILVA e ALMEIDA, 2020).

Uma das maiores vantagens da engenharia simultânea é a diminuição do tempo necessário para a realização dos projetos. Ao possibilitar que diversas etapas do desenvolvimento aconteçam simultaneamente, observa-se uma redução considerável no tempo total de conclusão. Por exemplo, ao elaborar o projeto, os engenheiros encarregados da construção já podem começar as preparações para o local da obra. Da mesma forma, ao realizar os cálculos estruturais, as medidas de sustentabilidade, como a reciclagem de resíduos, já estão sendo incorporadas ao planejamento. Este ganho de tempo é particularmente relevante em um campo como o da construção civil, onde os prazos de entrega são elementos de grande relevância e de competitividade, além de os atrasos poderem resultar em custos extras e efeitos adversos para os empresários (MARTINS *et al.*, 2021).

Na abordagem convencional, a ausência de comunicação entre os setores pode resultar em questões como incompatibilidades no projeto, erros na execução e, frequentemente, a demanda por retrabalhos, aumentando os gastos e os prazos. A engenharia simultânea, ao promover a integração desde o começo, reduz esses riscos, uma vez que todos os participantes possuem um entendimento claro do projeto em sua totalidade e das demandas específicas de cada etapa (CARDOSO, 2021).

A implementação da engenharia simultânea também leva à economia de fundos. A detecção antecipada de problemas e a solução conjunta de desafios técnicos e ambientais auxiliam na diminuição do desperdício de materiais, na utilização mais eficaz de trabalhadores e na redução de gastos adicionais com alterações ou adaptações futuras. Ademais, a implementação de práticas sustentáveis, possibilitadas por essa estratégia integrada, pode resultar em uma economia duradoura, seja pela diminuição do uso de energia e água, seja pela redução de desperdícios e reaproveitamento de materiais (CHIODI FILHO, 2018).

Um dos maiores problemas na aplicação desse modelo de gestão é a exigência de uma transformação cultural e estrutural no setor operacional, que frequentemente está habituado a procedimentos convencionais e segmentados. A integração de uma equipe demanda um alto grau de coordenação, uma comunicação eficiente e, frequentemente, a aplicação de tecnologias gerenciais avançadas, como os sistemas de modelagem da informação da construção (BIM - *Building Information Modeling*). Esses elementos podem exigir investimentos iniciais, contudo, os benefícios adquiridos em eficiência, sustentabilidade e qualidade tendem a compensar tais despesas ao longo do tempo (FREITAS e MEYER, 2022).

2.4.1. Integração na Reutilização de Resíduos e Economia Circular

A utilização da engenharia simultânea na gestão/reutilização de resíduos na indústria da construção contribui na forma como os projetos são elaborados e implementados. A engenharia simultânea, ou engenharia concorrente, requer a colaboração de várias disciplinas e partes interessadas desde os estágios iniciais de um projeto. Este modelo de colaboração possibilita a antecipação e resolução eficaz de problemas e soluções, prevenindo retrabalhos e desperdícios, o que é crucial para o êxito de projetos pautados na economia circular (FABRÍCIO e MELHADO, 2002).

A economia circular surgiu na década de 1970 como uma resposta aos desafios

ambientais, buscando conciliar desenvolvimento econômico com sustentabilidade. O conceito se baseia na restauração e renovação de materiais, promovendo um fluxo contínuo de recursos e ressignificando a relação entre homem e natureza. Ao contrário da economia linear, que se baseia em extração, produção, consumo e descarte, a economia circular visa reduzir a geração de resíduos e a pressão sobre os recursos naturais. Essa proposta tem ganhado força na Europa, com iniciativas que valorizam a eficiência no uso de recursos e a criação de modelos produtivos mais sustentáveis (FERREIRA *et al.*, 2011).

Na construção civil, a economia circular e as práticas sustentáveis são exemplificadas por ações como o uso de "telhados verdes" e a certificação de eficiência energética, que promovem um ambiente urbano mais saudável e economicamente viável. Essas práticas demonstram que, além de beneficiar o meio ambiente, é possível obter vantagens financeiras dentro das obras. A economia circular apresenta-se como uma proposta de inovação operacional, onde empresas podem atuar como consumidoras e fornecedoras de materiais reaproveitáveis, colaborando para um modelo de desenvolvimento menos predatório e mais alinhado com a preservação ambiental e dos recursos naturais (LEITÃO, 2015).

O principal conceito estabelecido dentro do modelo de economia circular é a eliminação de resíduos e a reutilização de materiais como parte de um ciclo produtivo sustentável, em contraste com o modelo econômico linear tradicional. Materiais biodegradáveis podem ser absorvidos pelo meio ambiente como nutrientes biológicos, enquanto os sintéticos e minerais podem ser mantidos em ciclos fechados de produção, transformando resíduos em matéria-prima para novos processos, reintegrando-os na cadeia produtiva. O design de produtos também é repensado para facilitar o reaproveitamento e reduzir descartes, minimizando a necessidade de reciclagem (GHISELLINI *et al.*, 2016).

No setor da construção civil, um dos principais geradores de Resíduos Sólidos (RS), a falta de estratégias eficientes de reaproveitamento tem causado preocupações ambientais e econômicas. Estima-se que mais de 50% dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil são provenientes desse setor, com grande parte desses resíduos sendo descartada de forma inadequada, gerando riscos socioambientais em diferentes escalas. A caracterização dos resíduos e a implementação de práticas de gestão mais sustentáveis são essenciais para reduzir desperdícios e melhorar a eficiência na reutilização de materiais (LEITÃO, 2015).

Dada a relevância econômica da construção civil e seu impacto ambiental, a adoção da economia circular pode promover um modelo de “produção ecoeficiente”, diminuindo a exploração de recursos naturais. A reutilização de materiais e a redução do consumo de insumos não renováveis não são apenas uma questão econômica, mas fundamentais para a preservação ambiental (GHISELLINI *et al.*, 2016).

Ao considerar o ciclo de vida completo do projeto desde o começo, é possível estabelecer orientações que aprimorem o processo de desmontagem, visando recuperar materiais em bom estado para novos usos. Esta prática auxilia diretamente na conclusão do ciclo produtivo, um preceito fundamental da economia circular, em que os resíduos são reincorporados ao processo de produção ao invés de serem descartados (FERREIRA *et al.*, 2011).

3. METODOLOGIA

A revisão bibliográfica e a avaliação de estudos de caso constituem os dois pilares fundamentais da metodologia de pesquisa empregada. O objetivo da revisão bibliográfica foi discutir tópicos relevantes sobre a produção de resíduos na indústria da construção, tecnologias e técnicas de reaproveitamento, sugestões para integrar resíduos minerais em projetos de arquitetura e engenharia, além dos benefícios financeiros e ambientais do reaproveitamento. Também foram discutidos tópicos como a identificação e categorização dos resíduos gerados pela indústria da construção, os métodos e tecnologias disponíveis para o reaproveitamento desses resíduos, sugestões e orientações para a implementação de estratégias de reaproveitamento de resíduos em projetos, além dos benefícios econômicos e ecológicos do reaproveitamento de resíduos, a divisão de atividades e tarefas ficou da seguinte forma:

- Geração de Resíduos na Construção Civil: Importância do tema e Principais tipos de resíduos gerados;
- Tecnologias e Métodos de Reaproveitamento: Tecnologias disponíveis para o reaproveitamento de resíduos e Métodos utilizados na construção civil;
- Incorporação de Resíduos Minerais em Projetos: Recomendações para a inclusão de resíduos minerais e Diretrizes para projetos arquitetônicos e de engenharia;

- Benefícios do Reaproveitamento: Benefícios financeiros do reaproveitamento de resíduos e Benefícios ambientais associados ao reaproveitamento;
- Identificação e Classificação dos Resíduos: Processos de identificação dos resíduos produzidos e Classificação dos resíduos gerados na construção civil;
- Diretrizes para Reaproveitamento em Projetos: Recomendações para a implementação de estratégias de reaproveitamento e Integração de práticas sustentáveis nos projetos de construção;
- Impactos Econômicos e Ambientais do Reaproveitamento: Análise dos benefícios econômicos e Avaliação dos impactos ambientais positivos.

Desta forma, a metodologia adotada para este estudo compreende duas etapas principais: a revisão bibliográfica e a análise de estudos de caso.

3.1. Revisão Bibliográfica

A revisão narrativa da literatura foi realizada com base em temas correlatos, ou que tenham alguma contribuição com o estudo, com o objetivo de aumentar o conhecimento existente sobre o assunto e descobrir áreas de pesquisa ainda abertas. Ao longo desta etapa, foi necessário consultar e analisar fontes, como artigos científicos, dissertações, teses, livros, normas técnicas e publicações institucionais relacionadas à construção civil e sustentabilidade dentro desta área.

A pesquisa foi conduzida utilizando-se de fontes de dados amplamente reconhecidas no meio acadêmico, como Google Acadêmico, SciELO e periódicos CAPES, os quais oferecem acesso a um maior volume de artigos científicos, teses e dissertações afunilados no tema em foco. Durante a busca por informações, foram empregadas palavras-chave relacionadas com o tema.

A revisão se concentrou na identificação e análise dos vários tipos de resíduos gerados na construção civil, examinando suas características, fontes e quantidades. Também foram discutidos os problemas e oportunidades associados à gestão eficaz dos resíduos.

Além disso, foram analisados os métodos atuais de reciclagem, reutilização e redução de resíduos, incluindo métodos novos e inventivos que buscam maximizar o uso de materiais e minimizar o desperdício. Os estudos de caso demonstraram a

aplicação prática dessas soluções, bem como sua eficiência, eficácia e viabilidade financeira e técnica.

Também foram discutidos os benefícios do reaproveitamento de resíduos na construção civil, com ênfase em estudos que quantificam e qualificam os ganhos obtidos por meio da implementação de práticas sustentáveis, como o de Fajardo (2023). Serão examinados vários fatores, incluindo redução de custos, economia de recursos naturais, redução das emissões de gases de efeito estufa, melhoria da eficiência energética e contribuição para os processos de reaproveitamento e redução da exploração de recursos naturais.

3.2. Estudos de caso

Os três estudos utilizados nesta etapa foram escolhidos por se mostrarem significativos e contribuíram significativamente para o desenvolvimento da compreensão e aplicações práticas do reaproveitamento de resíduos na construção civil. Essas pesquisas mostram várias estratégias e soluções que foram usadas no Brasil, fornecendo soluções aplicáveis e de acordo com as normas e legislações do país.

3.2.1. Estudo de Caso 1: Saraiva (2013)

O primeiro estudo de caso aborda a pesquisa realizada por Saraiva (2013), que discute a importância das diretrizes de projeto para a desconstrução de edificações, visando reduzir impactos ambientais e custos no setor da construção civil, além de aumentar a vida útil dos edifícios e seus componentes. O estudo enfatiza a necessidade de integrar essas diretrizes desde a fase de concepção do projeto, momento crítico e de grande importância para a tomada de decisões sobre escolha de materiais, métodos e processos construtivos.

A metodologia adotada envolveu uma análise da literatura disponível para identificar e consolidar os princípios fundamentais do projeto para desconstrução. Entre esses princípios destacam-se a durabilidade e redução de tipos de materiais e componentes, adaptabilidade da planta a diferentes funções, preferência por conexões mecânicas, facilidade de acesso aos componentes e identificação clara de materiais utilizados.

Após o levantamento e comparação dos resultados da literatura, a autora

procedeu à aplicação desses princípios na análise de projetos arquitetônicos publicados em revistas nacionais do setor no ano de 2012. O objetivo dessa investigação foi determinar o grau de incorporação dos conceitos de desconstrução na prática arquitetônica brasileira moderna. Os resultados mostraram que a arquitetura brasileira geralmente não se preocupa com os princípios de desconstrução em seus projetos. A falta de integração desses conceitos leva a edificações menos eficientes em termos de gestão de recursos e sustentabilidade ao longo do ciclo de vida.

Nos resultados e discussão, abordou-se as possíveis razões para a baixa adoção de diretrizes de desconstrução, incluindo a novidade do tema, falta de conscientização e possíveis lacunas educacionais no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). O estudo em questão não busca definir padrões, mas sim evidenciar as vantagens e desvantagens do projeto para desconstrução, incentivando arquitetos e demais profissionais a considerar esses princípios desde a concepção dos projetos, de modo a reduzir os impactos ambientais e melhorar a eficiência e custo das edificações ao longo de seu ciclo de vida.

Concluiu-se que pesquisas direcionadas para este tema devem dar maior enfoque para a necessidade de maior conscientização e educação dos profissionais e da população sobre a importância de construir de maneira mais eficiente e sustentável. Propõe-se que a incorporação sistemática dos princípios de desconstrução pode permitir que edifícios sejam reparados, alterados e desmontados com menores danos e custos, promovendo a reciclagem e reutilização na construção civil. O estudo fornece informações e métodos que podem guiar mudanças durante o projeto e ciclo de vida das edificações. Isso atende às demandas atuais do setor de meio ambiente/gestão ambiental das construtoras.

3.2.2. Estudo de Caso 2: Carvalho (2018)

O segundo estudo de caso analisa a pesquisa conduzida por Carvalho (2018), que explorou a importância das diretrizes do conceito de Projeto para Desmontagem (PPD) e a reutilização de materiais provenientes de processos construtivos. O objetivo principal do estudo foi demonstrar como a consideração desses aspectos pode reduzir impactos ambientais e custos, além de aumentar o aproveitamento de componentes e prolongar a vida útil das edificações.

A metodologia utilizada baseou-se em uma revisão bibliográfica fundamentada

no *Design Science Research*, permitindo a geração de um artefato aplicado a situações reais. A partir dos conceitos de coleta, reuso e reciclagem, foi desenvolvido o protótipo de uma ferramenta computacional (um *plug-in* para o *software SketchUp*) destinada a auxiliar profissionais como arquitetos e engenheiros na adoção de estratégias de desmontagem e reaproveitamento de componentes durante o processo de projeto.

O desenvolvimento do protótipo envolveu planejamento conceitual, implementação técnica e sucessivos testes e aprimoramentos realizados em ambiente de laboratório. O *plug-in* funciona por meio de interações de perguntas e respostas entre o software e o usuário, fornecendo informações e orientações que auxiliam na tomada de decisões sobre a seleção de materiais e métodos construtivos alinhados aos princípios de desmontagem e sustentabilidade.

Os resultados dos testes indicaram que o protótipo apresentou desempenho satisfatório, sem inconsistências funcionais, demonstrando potencial para ser desenvolvido integralmente e aplicado em contextos profissionais. A ferramenta mostrou-se capaz de nortear projetos complementares nas áreas de arquitetura e engenharia, promovendo a integração de práticas sustentáveis desde as fases iniciais de concepção do projeto.

Na discussão, foi ressaltada a relevância da coordenação entre diferentes profissionais envolvidos nos empreendimentos de construção civil para otimizar processos e garantir qualidade no produto final. O estudo evidencia que a utilização de ferramentas computacionais como o *plug-in* desenvolvido pode facilitar a incorporação de diretrizes de PPD, contribuindo para a redução de impactos ambientais e custos associados à construção e desconstrução de edificações.

A conclusão do trabalho aponta que o objetivo geral da pesquisa foi alcançado, com a criação de um protótipo funcional que demonstra a aplicabilidade e importância do PPD no processo de projeto arquitetônico. Juliana sugere melhorias futuras no aspecto gráfico e na funcionalidade do *software*, além de sua disponibilização online para um público mais amplo.

3.2.3. Estudo de Caso 3: Fajardo (2023)

O terceiro estudo de caso examina a dissertação de mestrado de Fajardo (2023), que investigou a utilização de rejeitos de minério de ferro (*Iron Ore Tailings - IOT*) na produção de argamassas estruturais de alto desempenho. O objetivo principal do estudo

foi avaliar a viabilidade técnica e os impactos das adições minerais de IOT, empregando conceitos de empacotamento de partículas para aprimorar as propriedades mecânicas e de durabilidade das argamassas.

A metodologia adotada por Fajardo (2023) envolveu análises detalhadas de caracterização dos materiais, incluindo a avaliação da composição química, propriedades físicas e mineralógicas dos rejeitos de minério de ferro. Foram produzidas argamassas com diferentes proporções de IOT, e suas propriedades mecânicas (resistência à compressão e tração na flexão), indicadores de durabilidade (porosidade, absorção de água, coeficiente de capilaridade, resistividade elétrica) e compostos hidratados foram avaliados aos 7, 28 e 112 dias de cura.

Os resultados demonstraram que a incorporação de IOT contribuiu significativamente para a melhoria das propriedades das argamassas. Observou-se alta densificação e reduzida porosidade nas misturas contendo rejeitos, além de menor percolação de água e coeficiente de capilaridade. As resistências mecânicas apresentaram valores elevados, alcançando 95,42 MPa para compressão e 8,26 MPa para tração na flexão aos 112 dias. A análise termogravimétrica indicou uma melhor hidratação do cimento e reação pozolânica da sílica ativa, resultando em maior densificação da matriz e redução dos poros.

Na discussão, o autor destaca que as características físicas e químicas dos IOT influenciaram positivamente as propriedades das argamassas, reforçando a eficiência do empacotamento de partículas e o efeito *filler* proporcionado pelos rejeitos. O estudo também aponta que o uso de IOT como adição mineral pode ser uma alternativa sustentável e economicamente viável para a indústria da construção, contribuindo para a redução de impactos ambientais associados à disposição inadequada desses resíduos.

A conclusão do estudo afirma que é possível produzir argamassas de alta resistência e desempenho utilizando rejeitos de minério de ferro in natura, promovendo benefícios ambientais significativos e valorizando resíduos industriais. Fajardo sugere a continuidade da pesquisa com avaliações em idades mais avançadas, diferentes teores de sílica ativa e estudos de outras granulometrias de IOT, visando aprofundar o entendimento e expandir a aplicabilidade dessa tecnologia.

3.3. Integração dos estudos de caso

Ao combinar abordagens teóricas da revisão bibliográfica com análises de

estudos de caso práticos, é possível obter uma compreensão mais detalhada e técnica do reaproveitamento de resíduos na construção civil. No Brasil, vários métodos e soluções são mostrados. Os estudos de caso complementam-se abordando questões técnicas e materiais, como no estudo de Fajardo (2023), ferramentas práticas para profissionais, como no estudo de Carvalho (2018), e diretrizes conceituais e educacionais, como no estudo de Saraiva (2013).

Esta metodologia permite identificar e analisar os tipos de resíduos gerados e as tecnologias e métodos disponíveis para seu reaproveitamento, além de avaliar diretrizes e práticas recomendadas para sua incorporação nos processos de projeto. Adicionalmente, evidencia os benefícios econômicos e ambientais associados a essas práticas, reforçando a importância de uma transição para modelos construtivos mais sustentáveis e alinhados aos princípios da economia circular.

A aplicação desta metodologia de análise de diversos estudos de caso sintetizando suas metodologias e resultados, permite a identificação e análise dos diferentes tipos de resíduos produzidos, bem como os métodos e tecnologias disponíveis para seu reaproveitamento. Também permite avaliar as diretrizes e práticas sugeridas para sua incorporação nos processos de projeto. Além disso, demonstra os benefícios econômicos e ambientais associados à essas práticas e enfatiza a necessidade de mudar para modelos construtivos mais sustentáveis que se alinham com os princípios da economia circular.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise dos Resíduos na Construção Civil

Conforme já mencionado anteriormente, e citado por Leitão (2015) e Furukawa e Carvalho (2011), a indústria da construção é uma das atividades econômicas que mais produz resíduos sólidos, contribuindo para uma parte considerável dos RSU. Esses detritos são bastante variados e surgem de várias etapas da construção, tais como demolição, construção, remodelação e manutenção. Os RS mais comuns incluem concreto, madeira, aço, cerâmica, gesso, vidro, plástico e uma variedade de embalagens. Os volumes variam conforme o tamanho do projeto e a fase de produção dos resíduos, podendo atingir até 50% dos RSU em certas situações. Por exemplo, o concreto é um dos materiais mais proeminentes, ao passo que o plástico e as embalagens são

comumente utilizados nas etapas de acabamento e transporte.

Cada categoria de RS possui características e origens distintas. Os detritos de concreto, de grande volume e peso, são gerados principalmente nas etapas de demolição e fundação, representando uma das maiores inquietações relacionadas à sua destinação final. A madeira surge como resíduos de material bruto ou andaimes e escoramentos descartados. O gesso e a cerâmica são característicos das etapas de acabamento, originados de cortes e ajustes realizados nas peças. Geralmente, o aço e o vidro são descartados de instalações e estruturas, enquanto materiais como plásticos e embalagens são provenientes principalmente do transporte e armazenamento de materiais (FRAGA, 2006).

Conforme mencionado por Bandeira (2019), os principais problemas ligados à gestão imprópria desses resíduos podem variar, abrangendo a superlotação de aterros, a poluição do solo e dos recursos hídricos, bem como a liberação de gases nocivos durante o transporte e o descarte impróprio. Frequentemente, os resíduos são misturados e dispostos de maneira imprópria, complicando a reciclagem e o reaproveitamento. Contudo, a administração adequada dos resíduos pode solucionar tais questões, gerando possibilidades como a reciclagem de materiais e a incorporação de componentes em novos processos de construção. Por exemplo, a reciclagem de concreto possibilita a fabricação de agregados para novas construções, ao passo que a madeira e o gesso podem ser reaproveitados em diversas fases da construção (FURUKAWA e CARVALHO, 2011).

A implementação de práticas adequadas de gestão de resíduos e o estímulo à economia circular são essenciais para a sustentabilidade na construção civil. Carvalho (2018) cita que é cada vez mais aconselhável o planejamento de obras que levem em conta a desmontagem de estruturas e a separação de materiais para reciclagem e reutilização. Ademais, a implementação de estratégias de gerenciamento de resíduos, incluindo a triagem e o destino apropriado dos materiais, pode diminuir consideravelmente o impacto ambiental das edificações. A união dessas táticas leva a projetos mais eficazes e conscientes do meio ambiente, proporcionando vantagens econômicas e ecológicas (PINTO e SOUZA, 2020).

A Tabela 1 resume as principais características e obstáculos associados aos resíduos produzidos na indústria da construção, além de enfatizar as possibilidades de reciclagem e reutilização dentro do sistema de gestão.

Tabela 1 – Classificação de resíduos de acordo com o tipo

Tipo de Resíduo	Características	Fontes	Quantidade Gerada	Problemas	Oportunidades
Concreto	Pesado, volumoso	Demolições, fundações, lajes	Alta quantidade	Ocupa grandes volumes em aterros	Reciclagem para produção de agregados reciclados
Madeira	Sobras, escoramentos, andaimes	Estruturas temporárias, carpintaria	Moderada	Descarte inadequado, apodrecimento	Reutilização em outras fases da obra
Aço	Estrutural, maleável	Estruturas metálicas, reforços de concreto	Moderada	Risco de corrosão, difícil separação	Reciclagem para novos componentes metálicos
Gesso	Leve, quebradiço	Acabamento, divisórias	Baixa a moderada	Difícil de reciclar, contaminação de outros materiais	Reciclagem em produção de novos materiais de construção
Cerâmica	Rígida, pesada	Revestimentos, pisos	Moderada	Difícil manuseio após corte	Reciclagem como agregado para pavimentos
Vidro	Quebradiço, transparente	Janelas, fachadas	Baixa	Frágil, risco de contaminação com outros resíduos	Reciclagem para produção de novos vidros
Plásticos	Leve, moldável	Embalagens, tubulações, isolamento	Baixa a moderada	Dificuldade de decomposição	Reciclagem para novos produtos plásticos

Fonte: adaptado de Fajardo (2023); Carvalho (2018) e; Saraiva (2013)

4.2. Design for X e engenharia simultânea

O conceito de DfX, introduzido na revisão bibliográfica, oferece uma abordagem abrangente para a concepção de projetos que visam otimizar aspectos específicos, como desmontagem, sustentabilidade e eficiência. Nesta seção, o foco recai sobre os resultados da aplicação prática do DfX na construção civil, enfatizando sua capacidade de integrar princípios de economia circular e minimizar os impactos ambientais.

Nesta investigação, Carvalho (2018) destaca a relevância de normas que possibilitam a desmontagem de estruturas e o reaproveitamento de materiais, visando diminuir os efeitos negativos no meio ambiente, minimizar os desperdícios e estender a durabilidade dos componentes. Esse processo facilita a economia circular no setor, reduzindo a necessidade de extração de novas matérias-primas.

A Engenharia Simultânea (ou Concomitante), por outro lado, visa integrar diferentes disciplinas e equipes de projeto desde o início do desenvolvimento de um produto ou obra, a fim de garantir que todas as necessidades e restrições sejam consideradas de maneira integrada. Esta prática agiliza o processo de desenvolvimento e

aprimora a qualidade final do produto, prevenindo retrabalhos e disputas imprevistas. Em suas figuras explicativas, é demonstrada a integração do DfX com a Engenharia Simultânea, estabelecendo um ciclo de design onde elementos como desmontagem e reciclagem são considerados desde as etapas iniciais de planejamento e construção. Esta interação favorece o processo de desenvolvimento de projetos com objetivos de tornar as obras mais sustentáveis e simplifica a administração futura dos resíduos, gerando relatórios de produção e controle, que, posteriormente podem compor um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) ou Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC).

No estudo de caso de Fajardo (2023) acerca do reaproveitamento de resíduos de minério de ferro na indústria da construção, observa-se a implementação direta desses princípios. O estudo analisou como os resíduos, anteriormente considerados um passivo ambiental considerável, podem ser reaproveitados na fabricação de argamassas com melhor performance estrutural. Este trabalho ilustra a aplicação do DfX, uma vez que o projeto foi concebido para maximizar o uso de resíduos, incentivando a economia de recursos naturais e a diminuição dos efeitos no meio ambiente. Adicionalmente, a incorporação deste processo de reciclagem na etapa inicial de design e produção dessas argamassas, utilizando o conceito de Engenharia Simultânea, garantiu que as características mecânicas e a durabilidade dos materiais satisfaçam as demandas estruturais ao longo do tempo.

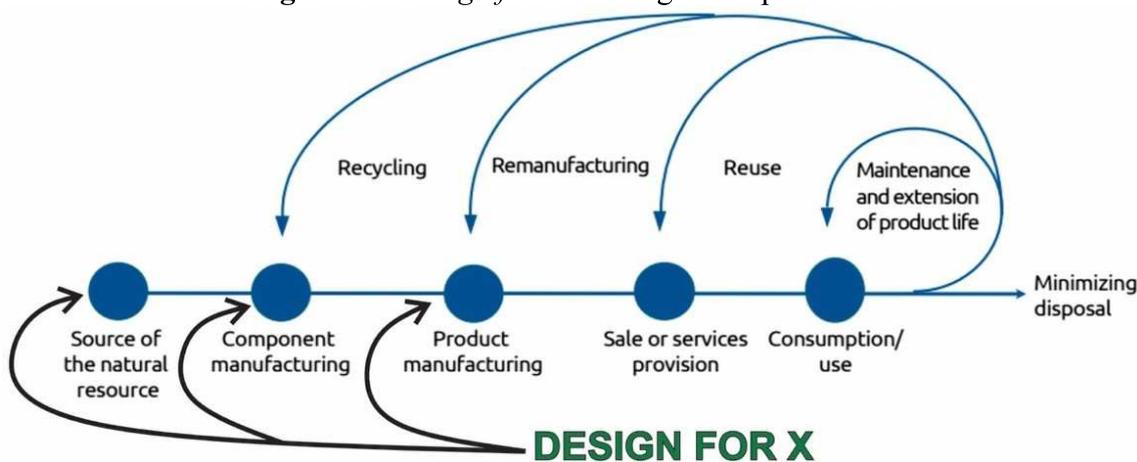
As Figuras 3 e 4 representam, respectivamente, os fluxogramas de funções e operacional do *Design for X*.

Figura 3 – *Design for X*: Fluxograma de funções
 DESIGN FOR X (X = variável)
 DESIGN FOR X (X = Excelencia)



Fonte: Velling (2021)

Figura 4 – *Design for X*: Fluxograma operacional



Fonte: Velling (2021)

4.3. Propostas de diretrizes de projeto para desconstrução

As sugestões de diretrizes de projeto para desconstrução buscam integrar conceitos de sustentabilidade, economia circular e eficácia no processo de desmantelamento de construções, visando a recuperação de materiais e a redução da produção de resíduos. Desde o início, o planejamento deve considerar o término da vida útil do edifício, simplificando a desmontagem seletiva e o reaproveitamento de partes. A seleção de materiais e métodos construtivos que possam ser desmontados e reutilizados

é essencial, como a utilização de parafusos reversíveis e materiais modulares. Faz-se necessária a elaboração de um registro geral dos materiais empregados, documentando suas propriedades, suas especificações e a possibilidade de reaproveitamento. Esta rastreabilidade simplifica a gestão durante a desmontagem (TEIXEIRA e TEIXEIRA, 2023).

Outra orientação apontada por Albertin *et al.*, (2017), é a criação de sistemas construtivos modulares, que facilitam a desmontagem e a reutilização de componentes em novos projetos. A implementação desses sistemas diminui a produção de resíduos, uma vez que todos os componentes podem ser reutilizados. É importante dar preferência a materiais que possam ser reciclados ou reutilizados, tais como aço, alumínio, madeira e vidro, que podem ser reciclados várias vezes sem comprometer suas características.

As inovações tecnológicas do setor norteiam e facilitam este processo, utilizando ferramentas como o BIM (*Building Information Modeling* / Modelagem de Informações da Construção) e sistemas de acompanhamento da durabilidade dos materiais, que ajudam a identificar componentes que podem ser reutilizados ou reciclados, além de otimizar o processo de desmontagem. Desta forma, é imprescindível qualificar os trabalhadores para uma atuação segura na desconstrução, além de criar uma infraestrutura apropriada para o armazenamento, transporte e venda dos materiais recuperados. A Tabela 2 apresenta as Diretrizes de Projeto para Desconstrução com Enfoque em Economia Circular adaptadas de Saraiva (2013) e Carvalho (2018).

Tabela 2 - Diretrizes de Projeto para Desconstrução com Enfoque em Economia Circular

ID	Diretriz Geral	Diretrizes Específicas	Exemplos	Economia Circular (Ciclo Técnico)
01	Simplificação	Simplificação de sistemas construtivos. Redução de tipos de materiais utilizados. Redução de tipos de componentes. Componentes com mais de uma função. Redução de Peso de componentes. Desenho ergonômico de componentes.	Componentes pré-moldados. Elementos com encaixes simples. Uso de componentes leves e fáceis de manusear.	Reuso/Manutenção: Priorizar componentes duráveis e de fácil manutenção, aumentando a vida útil. Reciclagem: Reduzir a quantidade de materiais diferentes para facilitar a reciclagem no fim do ciclo de vida.
02	Flexibilidade	Adaptação a diferentes situações. Redução do uso de elementos de vedação tradicionais. Utilização de elementos de vedação pré-moldados ou pré-fabricados. Sistemas estruturais que permitem grandes vãos.	Paredes <i>Drywall</i> , divisórias removíveis, lajes nervuradas e treliças espaciais.	Reuso/Manutenção: Facilitar o reuso de componentes em diferentes projetos ou funções. Reciclagem: Facilitar a desmontagem para separar materiais e reinseri-los no ciclo produtivo.
03	Padronização	Modularidade e utilização de elementos e componentes pré-fabricados. Conexões padronizadas para montagem e desmontagem.	Conectores de chapas metálicas aparafusadas. Painéis pré-montados com sistemas embutidos (hidráulico e elétrico).	Reuso/Manutenção: Facilitar a substituição de componentes e permitir a reutilização em novos projetos. Reciclagem: Utilização de materiais recicláveis ou que possam ser facilmente reintegrados em novos produtos.
04	Facilidade de Acesso aos Sistemas da Edificação	Independência entre sistemas e camadas construtivas. Instalações aparentes sempre que possível. Utilização de conexões mecânicas para facilitar desmontagem e manutenção.	Instalações elétricas aparentes. Pavimentos com blocos intertravados.	Reuso/Manutenção: Facilitar o acesso para reparos ou substituições, prolongando a vida útil do sistema. Reciclagem: Garantir que sistemas desmontáveis possam ser separados e reciclados eficientemente.
05	Fatores de Sustentabilidade	Utilização de estratégias ambientais no projeto. Tecnologias limpas para conforto térmico e redução de resíduos. Modularização da alvenaria. Reaproveitamento de águas pluviais.	Sistemas de ventilação natural. Gestão de resíduos no canteiro. Certificações ambientais.	Reuso/Manutenção: Reutilização de materiais de construção. Reciclagem: Aplicação de materiais reciclados e reaproveitáveis no processo de construção.
06	Organização / Gestão	Adoção de estratégias que viabilizem a desconstrução. Documentação detalhada de materiais e componentes para facilitar sua rastreabilidade. Integração entre áreas de conhecimento.	Uso de tecnologias de prototipagem virtual. Gestão de processos com ferramentas digitais (BIM).	Reuso/Manutenção: Melhor gestão e manutenção dos materiais ao longo da vida útil da edificação. Reciclagem: Rastreabilidade de materiais para garantir a reintegração ao ciclo produtivo.

Fonte: Adaptado de Saraiva (2013) e Carvalho (2018)

4.4. Ciclo Técnico da Economia Circular e Diretrizes de Reaproveitamento

A desmontagem e a reutilização de materiais são essenciais para o funcionamento da economia circular, que visa estender a durabilidade dos materiais e reduzir o desperdício. Os três casos estudados ressaltam a relevância do planejamento desde o começo do projeto, a administração eficaz de resíduos e a seleção de materiais que simplifiquem a desmontagem e reaproveitamento. As Tabelas abaixo resumem as semelhanças mais significativas entre os três estudos de caso, enfatizando sua conexão com o ciclo técnico da economia circular e as orientações para o reaproveitamento. As Tabelas 3 e 4 representam, respectivamente, as seis bases dos estudos utilizados e a comparação entre eles.

Tabela 3 – Bases utilizadas nos estudos

Desconstrução e Reutilização de Materiais
Os estudos de casos abordam a importância de aplicar diretrizes para desconstrução para a reutilização de componentes e materiais das edificações. Esse enfoque vem ao encontro do ciclo técnico da economia circular, que busca minimizar resíduos e maximizar a vida útil dos materiais.
Planejamento para Desmonte
Há um enfoque no planejamento para desconstrução, ou seja, desde a fase inicial do projeto arquitetônico deve ser considerado as técnicas que permitirão desmontar os componentes de forma eficiente, buscando promover o reaproveitamento, incluindo a escolha de materiais que possibilitem uma rápida desmontagem e uma possível reutilização futura.
Gestão de Resíduos
Pode-se observar uma necessidade de gerir corretamente os resíduos da construção civil, enfatizando o uso de planos de gestão de resíduos e de segurança para possibilitar uma maximização quando se trata de reciclagem e o reaproveitamento.
Eficiência Energética e Sustentabilidade
O ciclo de vida útil dos materiais é considerado em todos os estudos como um fator-chave para promover a sustentabilidade. A reutilização de materiais reduz a necessidade de novos recursos, alinhando-se com os princípios da economia circular.
Diretrizes de Reaproveitamento
Todos os estudos sugerem a seleção de materiais que possam ser facilmente desmontados e reutilizados, como componentes modulares e de fixação simples (ex. parafusos). Apresentam um enfoque na minimização de resíduos durante a fase de construção e demolição, promovendo o reaproveitamento de elementos que podem ser reconicionados e destacam a necessidade de desenvolver planos paralelos de construção e desmontagem que facilitem o reaproveitamento dos materiais no final do ciclo de vida.
Economia Circular
Manutenção e Reuso: A reutilização de materiais estruturais, componentes de fachadas e sistemas prediais é promovida como uma alternativa à demolição Reciclagem: Componentes que não podem ser reutilizados em sua forma original são reciclados ou transformados em novos produtos, contribuindo para um ciclo fechado de materiais.

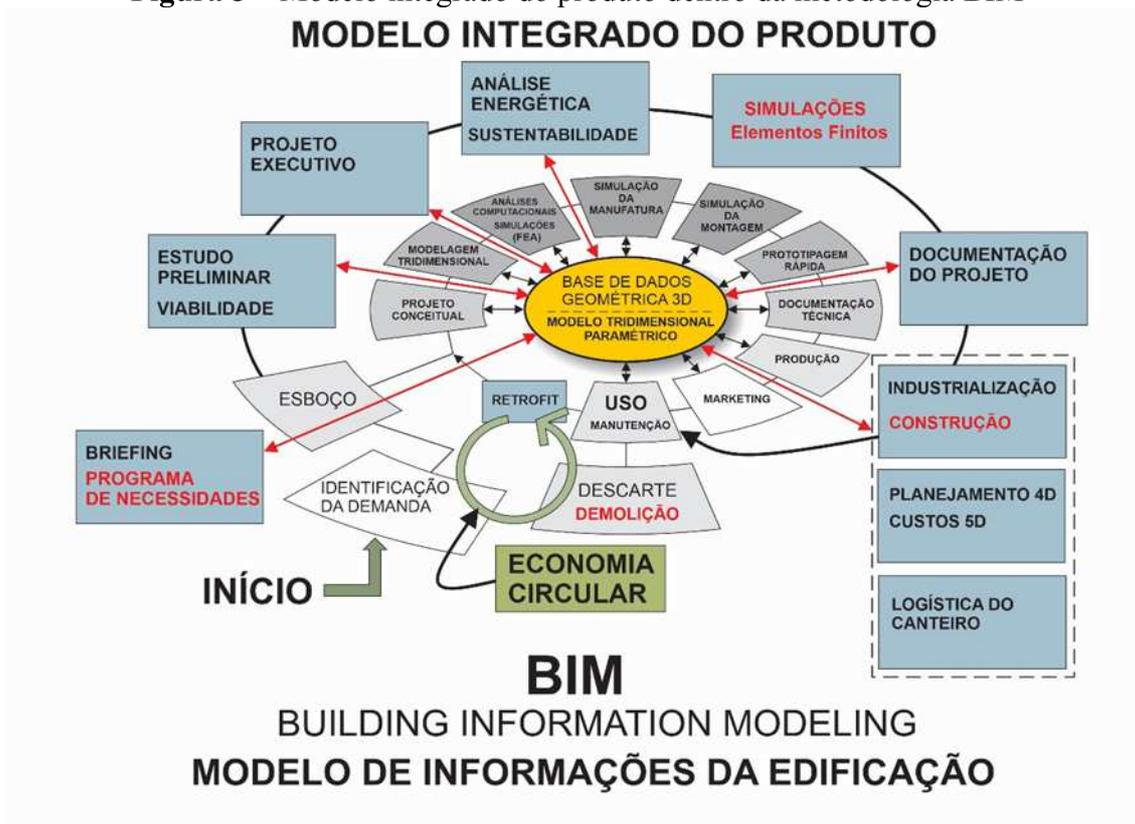
Fonte: adaptado de Fajardo (2023); Carvalho (2018) e; Saraiva (2013)

Tabela 4 – Comparação dos Estudos de Caso sobre Desconstrução e Economia Circular

Aspectos em Comum	Saraiva (2013)	Carvalho (2018)	Fajardo (2023)
Desconstrução e Reutilização de Materiais	Propõe diretrizes para reduzir o impacto ambiental e aumentar a vida útil dos edifícios e seus componentes através da desconstrução.	Apresenta diretrizes de desmontagem para ampliar a vida útil de materiais e reduzir impactos ambientais e custos.	Utiliza rejeitos de minério de ferro como alternativa sustentável para produzir argamassas de alto desempenho.
Planejamento para Desmonte	Enfatiza a importância da consideração de desmontagem na fase de concepção do projeto arquitetônico.	Desenvolve uma ferramenta de apoio para projetistas utilizarem desmontagem como prática comum.	Avalia o reaproveitamento de rejeitos no planejamento para minimizar impactos ambientais.
Gestão de Resíduos	Discute a redução de tipos de materiais e componentes para facilitar a gestão de resíduos.	Apresenta planos de coleta e reciclagem de materiais construtivos como parte da estratégia de desmontagem.	Utiliza resíduos da mineração na construção civil como solução para gestão de rejeitos industriais.
Eficiência Energética e Sustentabilidade	Promove a durabilidade e o reaproveitamento de materiais, evitando o uso de novos recursos.	Propõe o reaproveitamento de componentes, com foco na sustentabilidade e eficiência ao longo do ciclo de vida da edificação.	O uso de rejeitos de mineração reduz a extração de novos materiais, contribuindo para a sustentabilidade.
Diretrizes de Reaproveitamento	Sugere conexões mecânicas e materiais de fácil desmontagem para promover o reaproveitamento.	Cria métodos de projeto para facilitar o reaproveitamento de componentes no final do ciclo de vida dos edifícios.	Introduz o conceito de empacotamento de partículas para melhorar o desempenho estrutural de materiais reaproveitados.
Economia Circular	Estimula a reutilização de materiais para prolongar seu ciclo de vida e evitar a demolição.	Defende a reciclagem e reutilização de componentes para reduzir os resíduos da construção civil.	Reutiliza rejeitos industriais para criar novos produtos no setor da construção.

Fonte: Autora (2024).

Figura 5 – Modelo integrado do produto dentro da metodologia BIM



Fonte: Adaptado de Barr (2012)

De acordo com a Figura 5, ao vincular a economia circular à engenharia simultânea, percebe-se que a economia circular visa conservar materiais e recursos em uso pelo maior período possível, através do reaproveitamento, reciclagem e redução de resíduos. Fajardo (2023) destaca a utilização de resíduos, como os de minério de ferro, na criação de novos materiais, tais como cerâmicas, cimento geopolimérico e até mesmo em aplicações inovadoras, como a impressão 3D. A utilização desses resíduos permitiu o desenvolvimento de materiais de construção sustentáveis, auxiliando diretamente na economia circular ao converter resíduos que seriam descartados em novos produtos úteis.

Por outro lado, a engenharia simultânea busca integrar processos durante as fases de projeto e produção, visando reduzir tempo e custos, aprimorar a qualidade do produto e assegurar maior eficácia. Em Saraiva (2013), observa-se sua utilização através de ferramentas como o BIM e a prototipagem virtual, que contribuem para a antecipação de problemas durante o processo de projeto e construção, otimizando o ciclo de vida do produto.

A economia circular inclui o ciclo técnico que inclui a manutenção, reutilização,

remanufatura e reciclagem. Os materiais criados a partir de rejeitos de minério de ferro contribuem para este ciclo, pois o resíduo é convertido em novos itens de valor superior, diminuindo a utilização de recursos virgens e encerrando o ciclo produtivo.

4.5. Reflexões sobre a transformação da Sustentabilidade na Construção Civil

Desde o trabalho de Saraiva (2013), ocorreram mudanças significativas não apenas em técnicas e metodologias, mas também na forma como a sustentabilidade é tratada e implementada na construção civil. Em 2013, a sustentabilidade frequentemente era vista como um aspecto complementar. Atualmente, ela ocupa um papel central, influenciando práticas e reorientando o setor diante da crise climática e da escassez de recursos naturais.

Ao longo da última década, a integração de políticas públicas e práticas sustentáveis foi fortalecida por iniciativas globais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, e por legislações nacionais que incentivam a gestão de resíduos e o design para desmontagem. Essas mudanças ressaltam o reaproveitamento de resíduos como uma necessidade ética e econômica, além de estimular novas abordagens tecnológicas.

O avanço de ferramentas como o BIM destaca a evolução tecnológica no setor. Embora em 2013 tais tecnologias fossem pouco difundidas, hoje sua aplicação permite a rastreabilidade de materiais e facilita estratégias como o projeto para desconstrução. O presente estudo contribui para este progresso ao apresentar análises práticas que reforçam os princípios de sustentabilidade discutidos em estudos anteriores, aplicando-os em contextos contemporâneos.

As transformações culturais também desempenham um papel fundamental. Desde 2013, a crescente conscientização sobre a crise ambiental e a demanda social por práticas empresariais responsáveis consolidaram a sustentabilidade como um elemento estratégico no setor da construção civil. Este trabalho não apenas analisa essas mudanças, mas propõe diretrizes práticas que dialogam com a realidade brasileira e as tendências globais.

A comparação de indicadores entre os estudos analisados evidencia lacunas e oportunidades de melhoria. Mais do que apresentar métricas, a análise crítica dos resultados ressalta os desafios relacionados à implementação de conceitos como economia circular e desmontagem, especialmente em um cenário marcado por desigualdades regi-

onais e limitações estruturais. Ao abordar essas questões, o presente estudo avança na proposição de soluções concretas para práticas sustentáveis, contribuindo para a construção de um futuro mais resiliente e equilibrado.

Este trabalho, ao integrar e atualizar os conceitos trazidos por Saraiva (2013), posiciona-se como um passo importante no debate sobre sustentabilidade na construção civil. A revalorização dos resíduos como recursos estratégicos e a ênfase em práticas sustentáveis fortalecem o alinhamento do setor com princípios éticos e ambientais contemporâneos.

4.6. Indicadores de Análise dos estudos de Caso

A análise dos três estudos de caso revelou diferenças significativas em termos de sustentabilidade (S), eficiência econômica (E) e reaproveitamento de resíduos (R), sintetizadas em um indicador composto. Este indicador visa avaliar e comparar a eficácia das abordagens apresentadas nos estudos, considerando o impacto ambiental, a viabilidade prática e o potencial de reaproveitamento de materiais. Cada critério supracitado foi avaliado em uma escala de 1 a 5, considerando os resultados apresentados em cada estudo. A seguir, são apresentados os critérios:

- Sustentabilidade (S): avalia o impacto ambiental reduzido pela aplicação das práticas propostas, como diminuição de resíduos e economia de recursos naturais.
- Eficiência Econômica (E): mede a viabilidade econômica e a redução de custos proporcionadas pelas soluções analisadas.
- Reaproveitamento de Resíduos (R): verifica o percentual ou a quantidade de resíduos efetivamente reaproveitados.

Os resultados foram sintetizados na Tabela 5, permitindo uma análise comparativa entre os estudos.

Tabela 5 – Indicadores Comparativos dos Estudos de Caso Analisados

Estudo de Caso	Sustentabilidade (S)	Eficiência Econômica (E)	Reaproveitamento de resíduos (R)	Média Geral
Saraiva (2013)	4,0	3,0	2,0	3,0
Carvalho (2018)	5,0	4,0	4,0	4,3
Fajardo (2023)	5,0	5,0	5,0	5,0

Fonte: Autora (2024).

O estudo de Saraiva (2013) concentrou-se em diretrizes conceituais para o projeto de desconstrução. Embora inovador, apresentou desafios práticos devido à falta de integração generalizada dessas diretrizes na prática arquitetônica brasileira. A sustentabilidade foi avaliada como alta (pontuação 4,0), devido ao potencial de redução de impactos ambientais, mas a eficiência econômica e o reaproveitamento de resíduos foram limitados, resultando em pontuações de 3,0 e 2,0, respectivamente. A média geral foi de 3,0.

Carvalho (2018) destacou o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para incorporar diretrizes de desmontagem nos projetos de construção. Apresentou resultados promissores em termos de eficiência econômica (pontuação 4,0) e reaproveitamento de resíduos (pontuação 4,0), graças à integração de práticas sustentáveis desde as fases iniciais do projeto. A sustentabilidade também foi alta (pontuação 5,0), evidenciando o impacto positivo das soluções propostas. A média geral foi de 4,3.

A pesquisa de Fajardo (2023) teve como foco a reutilização de rejeitos de minério de ferro na produção de argamassas de alto desempenho. Os resultados destacaram-se pela excelência técnica e pelo impacto ambiental positivo, com pontuações máximas em sustentabilidade, eficiência econômica e reaproveitamento de resíduos (todas com 5,0). A média geral foi de 5,0 mostrando o potencial das soluções propostas para integração prática na construção civil.

Os indicadores revelam que, enquanto o estudo de Saraiva (2013) é fundamental para destacar a importância das diretrizes conceituais de desconstrução, ele enfrenta desafios na aplicação prática e integração no mercado. Já Carvalho (2018) apresenta uma abordagem equilibrada entre teoria e prática, com destaque para a criação de ferramentas que facilitam a implementação das diretrizes de desmontagem. Por outro lado, Fajardo (2023) destacou-se pelo impacto direto e mensurável, com resultados claros em termos de sustentabilidade e reaproveitamento de resíduos, demonstrando a viabilidade técnica e econômica de suas soluções.

Esses resultados enfatizam a importância de integrar práticas sustentáveis no setor da construção, desde diretrizes conceituais até soluções tecnológicas inovadoras. A combinação de abordagens teóricas e práticas, como as apresentadas nos três estudos, é essencial para a transição para um modelo de construção mais sustentável e alinhado com os princípios da economia circular.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo que contemplou a pesquisa bibliográfica realizada tratou de forma objetiva o reaproveitamento de resíduos da construção civil sob a perspectiva do processo de projeto, explorando as opções sustentáveis e economicamente viáveis para a incorporação desses materiais. A pesquisa realizada indicou que a reutilização de resíduos proporciona um panorama de vantagens não só ambientais, mas também econômicas e sociais, auxiliando de maneira significativa na diminuição da quantidade de resíduos produzidos e na preservação dos recursos naturais.

Com base nos estudos utilizados na metodologia, e melhor descritos nos resultados, a adoção de métodos que permitem a incorporação de resíduos minerais em empreendimentos de construção mostrou-se eficiente, contanto que os materiais sejam adequadamente processados e ajustados às demandas do projeto, o que gera uma nova demanda de serviço e processos, que é a adequação dos materiais para sua incorporação na cadeia produtiva. Os estudos apresentados sugerem que existe um aumento na aceitação do mercado para essa prática, particularmente quando combinada com políticas de sustentabilidade e diminuição de despesas, o que estimula sua implementação em grande escala.

As abordagens propostas, que vão desde a triagem dos resíduos até a instalação de sistemas de gerenciamento de resíduos no local de construção (PGRS e PGRCC, por exemplo), destacam a importância de se considerar dentro do escopo do planejamento a equipe multidisciplinar, gerindo diferentes setores da obra. A efetividade da reutilização de materiais reciclados foi comprovada tanto em termos técnicos quanto de conformidade com o mercado, possibilitando o desenvolvimento de novos padrões e práticas de construção mais sustentáveis.

Portanto, baseado nos estudos apresentados e na bibliografia utilizada, o presente estudo considera que a incorporação dos resíduos da construção civil nos processos de projeto pode não só minimizar os efeitos ambientais, mas também trazer inovações para o setor, tornando-o mais eficaz e colocando-o em consonância com os princípios da economia circular. A eficácia desta prática também está atrelada a uma maior sensibilização e à implementação de políticas públicas que promovam a utilização constante de materiais reciclados em variados tipos de projetos, buscando o estabelecimento de uma nova cultura no setor da construção civil e de projetos em geral.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 25 p.

ALBERTIN, M. P.; ELIENNESIO, M. L. B.; AIRES, A. S.; PONTES, H. L. J.; JUNIOR, D. P. A. **Principais inovações tecnológicas da indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura**. In: XXXIV Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru, SP, Brasil, 2017.

BANDEIRA, S. R. **Análise estrutural de concretos produzidos com resíduos de beneficiamento de placas de mármore e granito**. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Belém, 2019.

BARR, R. E., Engineering Graphics Educational Outcomes for the Global Engineer: An Update, Engineering Design Graphics Journal (EDGJ), Vol. 76, No. 3, pp. 8-12, Fall 2012.

BRANCO, L. A.; SOUZA, R. S. **Argamassa e concreto com resíduos de mármore e granitos**. Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2017 – 59CBC. 2017.

CARDOSO, W. *et al.* **Avaliação da incorporação de resíduo de corte de mármore e granito em concreto para produção de pisos intertravados para pavimentação**. Vol. 7/ n. 1 / Ano 2021–p. 01-17.

CARVALHO, J. L. **Reutilização De Resíduos Na Construção Civil: O projeto para desmontagem como forma de reaproveitamento**. Universidade Federal de Juiz De Fora Faculdade de Engenharia. Dissertação de Mestrado em Ambiente Construído. Juiz de Fora, MG. 2018.

CHIODI FILHO, C. **O setor brasileiro de rochas ornamentais. Pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. p. 493 - 526 In: ABIROCHAS, Brasília, DF, 2018.

DANISH, A. *et al.*, Reusing marble and granite dust as cement replacement in cementitious composites: A review on sustainability benefits and critical challenges. *Journal of Building Engineering*, Volume 44, December 2021, 102600.

DOS SANTOS, R. C.; COSTA, L. S.; RABELO, R. A.; JUNIOR, F. A. Recycling of granite and marble industrial residues in clay-based materials: a review. *Cerâmica*, v. 67, n. 381, p. 257-267, 2021.

FABRICIO, Márcio Minto; MELHADO, Silvio Burrattino. **Por um processo de projeto simultâneo**. In: II WORKSHOP NACIONAL: gestão do processo de projeto na construção de edifícios. 2002.

FAJARDO, A. A. **Estudo da adição de rejeito de minério de ferro para produção de compósitos cimentícios de alto desempenho**. 2023. 115 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

FERNANDES, S. C. *et al.* Produção de concreto de alta resistência com utilização de superplastificante e adição de microssílica. **Research, Society and Development**, v. 9, n.12, 2020.

FERREIRA, Cristiano Vasconcellos *et al.* **Projeto do produto**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

FRAGA, M.F; **Panorama da Geração de Resíduos da Construção Civil em Belo Horizonte: Medidas de Minimização com base no projeto e Planejamento de obras**. Belo Horizonte, 2006.

FREITAS, M. G.; MEYER, A. P. **Estudo das propriedades tecnológicas de granada granitos ornamentais tratados com ácido**. Curso de Pós-graduação Lato Sensu em Tecnologia de Produção de Rochas Ornamentais do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Cachoeiro de Itapemirim. 20 p. 23 de Junho de 2022.

FURUKAWA, F.M; CARVALHO, Bruno Branco de. **Técnicas construtivas e**

procedimentos sustentáveis – estudo de caso: edifício na cidade de São Paulo. 2011. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso - (bacharelado - Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULDIATI, S. *A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic system.* Journal of Cleaner Production. v. 114, p. 11-32, 2016.

HOMAYOONMEHR, Reza; RAMEZANIANPOUR, Ali Akbar; MIRDARSOLTANY, Mohammadamin. **Influence of metakaolin on fresh properties, mechanical properties and corrosion resistance of concrete and its sustainability issues: A review.** Journal of Building Engineering, França, ed. 44, 2021.

LEÃO, L. S. **Influência do tipo de EPS e método de mistura nas propriedades de argamassas de revestimento.** 2021. 156 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

LEITÃO, A; **Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI.** Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting, v. 1, n. 2, 2015.

LIBERALINO, V. P. *et al.* **Avaliação da absorção por capilaridade em argamassas de revestimento com adição de sílica ativa.** Anais do 62º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2020. Florianópolis, SC. Set. 2020.

MUNIZ JUNIOR, Jorge et al. / **Administração da Produção.** / Jorge Muniz Junior et al. - Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2012. 320p.

PAULA, Regina Célia Monteiro de *et al.* **Agressividade ambiental dos resíduos de granito e mármore: avaliação da mobilidade de elementos traço em condições de laboratório.** Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, Taubaté, v. 11, n. 1, p. 16-28, jan./mar. 2016.

PINTO, M. S.; SOUZA, M. V. **Aproveitamento de rejeito da extração de minério de ferro na fabricação de argamassas: Reaproveitamento, Reutilização e Tratamento de**

Resíduos. 17º Congresso Nacional do Meio Ambiente, Poços de Caldas MG, v. 17, n. V. 12, p. 1-10, 24 set. 2020.

QUEIROZ Fábio Conrado de; CASTRO Nuria Fernández. **Concreto celular com Ecofler de resíduos de mármore e granito**. VIII Jornada do Programa de Capacitação Institucional – PCI/CETEM – 30 e 31 de outubro de 2019.

RAJABIPOUR, F.; MARAGHECHI, H.; FISCHER, G. **Investigating the alkali-silica reaction of recycled glass aggregates in concrete materials**. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 22, n. 12, p. 1201-1208, 2010.

RIVETTI, M. L. S., ARAÚJO, A. G., & LIMA, P. R. L. (2024). **Influência da argamassa aderida ao agregado reciclado sobre as propriedades do concreto contendo resíduo de demolição**. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, 17(1), 1432–1453.

RODRIGUES, L. dos S. *et al.* **Avaliação tecnológica de cerâmicas tradicionais incorporadas com rejeito do minério de manganês**. *Cerâmica (online)*. 2014, v. 60, n. 356, pp. 580-585.

RODRIGUES, M. A. **Utilização dos resíduos de cortes de placas de mármore e granitos como adição na fabricação de concreto autoadensável**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Manaus – UFAM. Manaus, FT/UFAM, 2015.

RODRIGUES, HAYALA KAROLINE SANTOS *et al.* **Propriedades de um concreto leve estrutural com incorporação de argila expandida e resíduo de granito**. *Matéria (Rio de Janeiro)* [online]. 2022, v. 27, n. 1.

SANTOS, J. P. *et al.* **Caracterização física de substratos contendo resíduos de cascas de amêndoas de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)**. *REVISTA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS - RCA*, Canoas, v. 12, n. 2, 2018.

SANTOS, White José dos *et al.* **Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas**. *Ambiente Construído* [online]. 2019,

v. 19, n. 4 [Acessado 21 Novembro 2022], pp. 271-288.

SARAIVA, T. S. Diretrizes de projeto para possibilitar a desconstrução de edificações e seus componentes. Universidade Federal de Juiz de Fora Faculdade de Engenharia. Dissertação de Mestrado em Ambiente Construído. Juiz de Fora, MG. 2013.

TAIPALE, K. **De construções quase verdes para construções sustentáveis.** In: WORLDWATCH INSTITUTE. Estado do mundo 2012: rumo à prosperidade sustentável. Tradução: Claudia Strauch. Salvador: Universidade Livre da Mata Atlântica, 2012. pp. 143-151.

TEIXEIRA, Cynthia Helena; TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez. **A economia circular na era da 4ª revolução industrial: uso da tecnologia rumo à transição.** *Brazilian Journal of Education, Technology and Society* (BRAJETS), v. 16, n. 2, p. 219-235, 2023.

TUAUM, Awetehagn; SHITOTE, Stanley; OYAWA, Walter. **Experimental study of selfcompacting mortar incorporating recycled glass aggregate.** *Buildings*, v. 8, n. 2, p. 15, 2018.

VELLING, Andreas. **Design for X (DFX) Methods.** Fractory, 17 jun. 2021. Disponível em: <https://fractory.com/design-for-x-dfx/>. Acesso em: 01 out. 2024.

VIRGÍNIO, I. P.; ZARZAR JUNIOR, F. C. Avaliação da vida útil de elementos de concreto armado a partir de medições de íons cloretos existentes na atmosfera marinha da região metropolitana do Recife e através de modelos numéricos computacionais. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.11, p. 105411-105420 nov. 2021.

WINNER R. I. et al. The Role of **Concurrent Engineering in Weapon Systems Acquisition.** Institute for Defense Analysis, IDA Report R-338, Alexandria, 1988.

YELLISHETTY M.; MUDD G.M.; **Substance flow analysis of steel and long term sustainability of iron ore resources in Australia, Brazil, China and India,** *J. Clean. Prod.* 84 (2014) 400–410.