



Serviço Público Federal

Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



**Diretrizes para projetos de arquitetura modular sob a perspectiva
da Economia Circular**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
NATURAIS**

CAMILA LOPES ZEQUINI RODRIGUES ARAUJO

CAMPO GRANDE – MS

2022



Serviço Público Federal

Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



CAMILA LOPES ZEQUINI RODRIGUES ARAUJO

Diretrizes para projetos de arquitetura modular sob a perspectiva da Economia Circular

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais na Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. (Área de concentração: Ciências ambientais)

Orientador Prof. Dr. Alexandre Meira de Vasconcelos.

CAMPO GRANDE – MS

2022



Serviço Público Federal

Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



© 2022, Camila Lopes Zequini Rodrigues Araujo.

Todos os direitos reservados.

Como citar:

ARAUJO, Camila Lopes Zequini Rodrigues. **Diretrizes para projetos de arquitetura modular sob a perspectiva da Economia Circular**. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande - MS, 2022.

ARAUJO, Camila Lopes Zequini Rodrigues

Diretrizes para projetos de arquitetura modular sob a
perspectiva da Economia Circular / Camila Lopes Zequini Rodrigues Araujo.
Campo Grande, 2022.

Dissertação de Mestrado – Fundação Universidade Federal do
Mato Grosso do Sul

Orientador: Alexandre Meira de Vasconcelos

CAMILA LOPES ZEQUINI RODRIGUES ARAUJO

**Diretrizes para projetos de arquitetura modular sob a
perspectiva da Economia Circular**

Dissertação de Mestrado apresentado no Programa
de Pós-Graduação em Recursos Naturais na
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do
Sul. (Área de concentração: Bioeconomia)

Campo Grande – MS

Aprovado dia 24 de fevereiro de 2022

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexandre Meira de Vasconcelos
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais
Presidente

Profª. Dra. Eliane Guaraldo
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais
Membro Interno

Profª Drª Denize Demarche Minatti Ferreira (UFSC)
Universidade Federal de Santa Catarina
Membro Externo

Profª Drª Alessandra Beatriz Carneiro Gonçalves Alves (UFTM)
Universidade Federal do Triângulo Mineiro
Membro Externo

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Alexandre, meu orientador, aquele responsável por todo meu crescimento e aprendizado nessa caminhada no ambiente acadêmico, por toda paciência e orientação.

Ao Instituto Federal de Mato Grosso do Sul e a PROPI (Pró-reitoria de pesquisa, inovação e pós-graduação), Instituição a qual faço parte do quadro de servidores e que prontamente autorizou o uso de dados técnicos para contribuir com este trabalho.

Aos meus pais e irmão, por todo apoio e incentivo.

Ao meu marido e companheiro de vida, por toda compreensão, auxílio e por me incentivar a não desistir.

À Ana Carolina Delphino Rodrigues e ao Henrique Almeida Martins, colegas de profissão e de mestrado, que sempre estiveram presentes e me ajudando nessa caminhada.

RESUMO

O conceito de Economia Circular (EC) se popularizou já que representa vantagens econômicas e ambientais por perpetuar a função e valor do produto em circulação sem a necessidade de empregar mais energia/custos. Ao se tratar da construção civil – setor de grande impacto ambiental – a arquitetura modular é um sistema construtivo e projetual que se enquadra nessa proposta de EC, contudo ainda não se popularizou como estratégia no Brasil. O objetivo deste trabalho é validar diretrizes projetuais para desenvolvimento de projetos modulares. Para analisar o referencial teórico sobre arquitetura modular e EC, utilizou-se artigos obtidos por meio das bases de dados indexadas *Scopus* e *Web of Science*. Em seguida, realizou-se a análise de conteúdo do portfólio, por meio do *software* Iramuteq, que embasou a construção do instrumento de pesquisa. O conteúdo foi separado em dois blocos lexicais: o primeiro, representado pelas classes “políticas públicas e gestão de resíduos”, “energia e recursos naturais” e “BIM e inovações tecnológicas”; e o segundo representado pelas classes “implementação da EC” e “metodologia de projeto modular”. A partir da literatura de referência e análise de experiências bem-sucedidas em projetos modulares executados, emergiram diretrizes teóricas para projetos modulares. O procedimento metodológico utilizado para validação de construto se deu por meio da coleta de dados pela aplicação de um formulário online constituído de 34 questões com sentenças organizadas numa escala ordinal tipo Likert de 1 a 5 pontos, o qual foi utilizado como instrumento de pesquisa para obter a validação de especialistas da área de recursos naturais e sustentabilidade, para definir diretrizes. Posteriormente, as diretrizes foram submetidas a uma análise de construções modulares em ambientes escolares, um projeto de salas modulares do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS), onde verificou-se a aplicação de 25 das 32 diretrizes encontradas. aceitas pelo processo de validação por especialistas; destas 25 atendidas apenas 4 foram atendidas parcialmente. Evidenciaram-se lacunas para futuras pesquisas, como a efemeridade das construções modulares deve ser abordada em legislação e consideradas como área construída, bem como custos finais de instalação, ao considerar obras preliminares e terraplenagem. Contudo, foi possível concluir que as salas modulares do IFMS estão em consonância com as diretrizes de arquitetura modular sob a perspectiva da EC, entretanto, poderiam ser

mais eficientes se aliassem projeto com gestão de resíduos e a implementação do BIM.

Palavras-Chave: Arquitetura modular. Economia Circular. Diretrizes de projeto. Construção. Gestão de resíduos. Recursos naturais.

ABSTRACT

The concept of Circular Economy has become popular as it represents economic and environmental advantages to perpetuate the function and value of the product in circulation without the need to employ more energy/costs. When it comes to civil construction – a sector with a great environmental impact – modular architecture is a constructive and design system that fits into this CE proposal, however it has not yet become popularized as a strategy in Brazil. The objective of this work is to validate design guidelines for the development of modular projects. To analyze the theoretical framework on modular architecture and CE, articles obtained from the Scopus and Web of Science indexed databases were used. Then, the content analysis of the portfolio was carried out using the Iramuteq software, which was the basis for the construction of the research instrument. The content was separated into two lexical blocks, the first, represented by the classes “public policies and waste management”, “energy and natural resources” and “BIM and technological innovations”; and the second represented by the classes “CE implementation” and “modular design methodology”. From the reference literature and analysis of successful experiences in executed modular projects, theoretical guidelines for modular projects emerged. The methodological procedure used for construct validation was through data collection through the application of an online form consisting of 34 questions with sentences organized in an ordinal Likert-type scale from 1 to 5 points, which was used as a research instrument for obtain validation from experts in the field of natural resources and sustainability. Subsequently, the guidelines were submitted to an analysis of modular constructions in school environments, a project of modular classrooms by the Federal Institute of Mato Grosso do Sul (IFMS), where 25 of the 32 guidelines found were applied. accepted by the validation process by experts; of these 25 attended, only 4 were partially attended. Gaps for future research were evidenced, such as the ephemerality of modular constructions must be addressed in legislation and considered as a built-up area, as well as final installation costs, when considering preliminary works and earthworks. However, it was possible to conclude that the IFMS modular rooms are in line with the modular architecture guidelines from the EC perspective, however, they could be more efficient if they combined design with waste management and the implementation of BIM.

Keywords: Modular architecture. Circular Economy. Design guidelines. Construction. Waste Management. Natural resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo teórico das dimensões e componentes da arquitetura modular	4
Figura 2 – Etapas de execução do projeto de pesquisa.....	5
Figura 3 – Evolução do número de publicações sobre o tema.....	8
Figura 4 - Artigos por continente	11
Figura 5 - Bauhaus.....	11
Figura 6 – Palácio de Cristal, de Joseph Paxton.....	12
Figura 7 – Milard House	13
Figura 8 – Rosenbaum House (1939)	13
Figura 9 – Interior da Resenbaum House	14
Figura 10 – Loja da Ikea em Viena.....	14
Figura 11 - nuvem de palavras-chave em pesquisas teóricas.....	18
Figura 12 - Nuvem de palavras-chave em pesquisas empíricas	18
Figura 13 - Cadeia de palavras-chave em pesquisas teóricas.....	20
Figura 14 - Cadeia de palavras-chave em pesquisas práticas.....	22
Figura 15 - Antecedentes e consequências da EC na arquitetura.	37
Figura 16 - Diretrizes para projetos modulares	40
Figura 17 – Diagrama de borboleta.....	46
Figura 18 – Esquema modular do projeto da sede da Petrobrás no Rio de Janeiro .	47
Figura 19 - Construção complexo Hospital Leishenshan	51
Figura 20 – Unidades pré-fabricadas de container.....	52
Figura 21 – Fluxograma de projeto e execução	52
Figura 22 - Whole House Reuse	53
Figura 23 - Hospital municipal M'Boi Mirim	54
Figura 24 – Painéis montagem sala modular IFMS Campo Grande	64
Figura 25 - Estrutura sala modular IFMS Campo Grande	65

Figura 26 - Interior sala modular IFMS Campo Grande	66
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Periódicos e Índices	9
Tabela 2 - Artigos mais citados	16
Tabela 3: Etapas da Pesquisa.....	30
Tabela 4: CHD – Classificação hierárquica descendente	33
Tabela 5 – 9R.....	45
Tabela 6 - Valores mínimos de CVR para diferentes números de participantes.	58
Tabela 7 – Validacao de diretrizes por especialistas.....	60
Tabela 8 - Aplicação de diretrizes sobre salas modulares.	67

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO	X
ABSTRACT	XII
LISTA DE FIGURAS	XV
LISTA DE TABELAS	XVII
SUMÁRIO	XVIII
CAPÍTULO 1 – ASPECTOS GERAIS DO PROJETO.....	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	4
4. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E DE CONTEÚDO	6
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
CAPÍTULO 2 - PANORAMA CIENTÍFICO SOBRE ARQUITETURA MODULAR NO ÂMBITO DA ECONOMIA CIRCULAR.....	26
1. INTRODUÇÃO	26
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
3.1 POLÍTICAS PÚBLICAS E GESTÃO DE RESÍDUOS	34
3.2 ENERGIA E RECURSOS NATURAIS	34
3.3 BIM E INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS	35
3.4 IMPLEMENTAÇÃO DA EC.....	36
3.5 METODOLOGIA DE PROJETO MODULAR	37
4. DIRETRIZES PARA PROJETOS MODULARES	38
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
CAPÍTULO 3 – VALIDAÇÃO DE DIRETRIZES POR ESPECIALISTAS E ESTUDO DE CASO	44
1. INTRODUÇÃO	44
2. REFERENCIAL TEÓRICO	50
2.1 EXPERIÊNCIAS BEM-SUCEDIDAS COM PROJETOS MODULARES	50
LEIS, NORMAS E DEMAIS POLÍTICAS PÚBLICAS FORMALIZADAS	54
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	56
VALIDAÇÃO POR ESPECIALISTAS	56

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
5. ESTUDO DE CASO – SALAS MODULARES DO INSTITUTO FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL (IFMS).....	62
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICE A – PLANTAS SALAS MODULARES IFMS.....	81
APÊNDICE B – FUNDAÇÃO SALAS MODULARES IFMS	82
APÊNDICE C – CORTES SALAS MODULARES IFMS.....	83

Capítulo 1 – Aspectos Gerais do Projeto

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da existência da humanidade existiram mudanças em relação a forma de organização das sociedades e civilizações. As populações migraram e se adensaram nas cidades e centros urbanos após a era da industrialização, além de mudanças socioculturais resultantes de novos padrões de consumo. Ainda que existam esforços para um consumo mais eficiente e sustentável ao se tratar de recursos naturais, a satisfação das necessidades humanas ainda tem mantido predominantemente um caráter econômico linear (RIBEIRO et. al, 2014). Dentre as propostas para uma mudança dos padrões de produção e consumo encontra-se o conceito de Economia Circular (EC), um contraponto aos padrões de produção e consumo.

O setor de atividades humanas que consome recursos naturais e energia de forma mais intensiva é a indústria da construção civil (BRASIL, 2014). Também é considerada uma das atividades com maior impacto sobre o planeta por ser grande geradora de resíduos e extremamente dependente de recursos naturais. A criação ou o resgate de estratégias que diminuam os impactos desse consumo é imprescindível para atender às necessidades emergentes humanas considerando à condição finita dos recursos empregados nesse setor. A indústria da construção tem avançado em discussões relativas ao impacto ambiental do setor e voltado sua preocupação para que o desenvolvimento sustentável seja colocado em prática. A EC não apenas engloba um setor, mas um novo sistema de produção e consumo para o futuro. Proprietários, profissionais da construção e tomadores de decisão em geral tem sido conscientizados da importância do assunto e sobretudo vislumbrado benefícios econômicos. No Brasil é notória a preocupação com a implementação de nova políticas para modernização da construção civil, tanto no meio acadêmico quanto privado (CARDOSO apud GRANJA, 2015).

De acordo com Akbarnezhad, *et al.* (2014), pode-se atribuir a esses fatores o aumento significativo do interesse pela desconstrução de edificações nas últimas décadas em detrimento da estratégia convencional de demolição e descarte em aterros. Ao se tratar da arquitetura, uma estratégia que se mostra mais eficaz em relação a recursos empregados em uma edificação é o projeto para desmontagem (DENIS *et al*, 2018),

portanto é importante para o mercado verificar o que tem sido dito a respeito do tema e se as pesquisas têm demonstrado subsídios para a aplicação de tais metodologias de projeto.

Esta dissertação está estruturada na forma de capítulos. A parte I traz considerações gerais sobre o projeto de pesquisa e os procedimentos metodológicos. O objetivo deste primeiro capítulo é documentar as produções técnico científicas relacionadas à arquitetura modular, ao setor da construção civil e a EC publicados nas bases *Scopus* e *Web of Science (WoS)*, as duas principais plataformas de busca por trabalhos científicos e acadêmicos de repercussão global, contendo publicações de diversos periódicos. Uma forma de apreender as informações centrais do tema em ambas as bases foi realizar o mapeamento cienciométrico (HOOD, WILSON, 2001), identificando, de forma quantitativa e qualitativa, classificação de acordo com o tema, ocorrência de palavras-chave e suas cadeias de palavras, os principais periódicos e seus respectivos índices.

A parte II apresenta os resultados do estudo teórico sobre a inserção da arquitetura modular no modelo de economia circular por meio de um estudo cienciométrico (HOOD, WILSON, 2001) para identificar de forma quantitativa e qualitativa os principais conceitos e indicadores sobre as publicações científicas sobre o tema.

A parte III apresenta as diretrizes teóricas para projetos de arquitetura modular na perspectiva da economia circular a partir de elementos oriundos da literatura, legislação aplicável, de casos de sucesso nacionais e internacionais e que foram avaliados por especialistas quanto à sua pertinência ao modelo. Os procedimentos metodológicos estão detalhados na seção 2 deste capítulo inicial do projeto.

A justificativa desse trabalho é munir os profissionais da construção com diretrizes para realização de projetos modulares a partir de revisão bibliográfica. Os projetos modulares apresentam maior eficiência energética e menor gasto de materiais.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste projeto é estabelecer diretrizes para projetos de arquitetura modular com enfoque na economia circular.

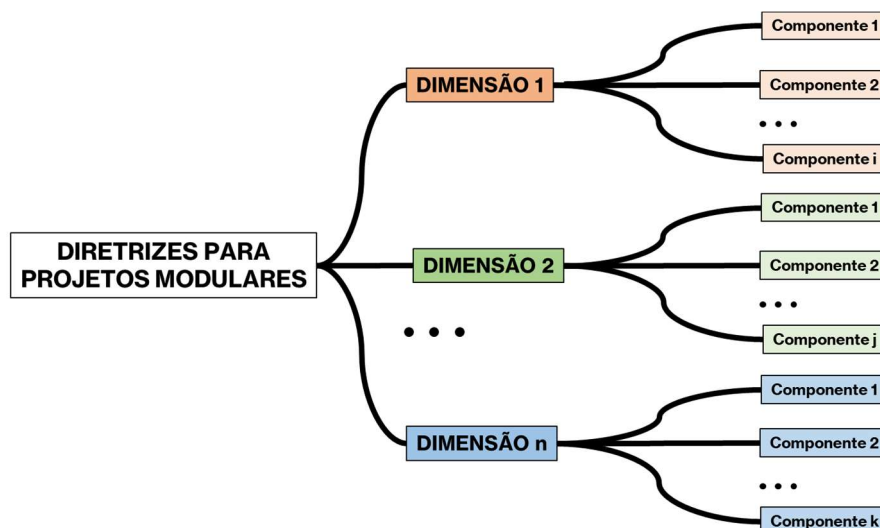
Os objetivos específicos são:

- a) Identificar dimensões e componentes teóricas para orientação para implantação da EC em projetos de arquitetura modular, com base na literatura de referência.
- b) Mapear o conjunto de diretrizes governamentais e normas em geral que afetam direta ou indiretamente os projetos de arquitetura modular.
- c) Identificar projetos de arquitetura modular no Brasil e no mundo disponíveis em websites institucionais de empresas de engenharia e arquitetura;
- d) Submeter as categorias teóricas ao crivo de especialistas na área para validação;
- e) Avaliar se as construções modulares analisadas neste trabalho seguem as diretrizes identificadas neste projeto.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Em um primeiro momento foi feito um levantamento da literatura de referência a partir de uma filtragem por relevância de conteúdo encontrado bases *Scopus* e *Web of Science* (WoS). Esse conteúdo foi submetido a uma análise bibliométrica, cienciométrica e análise de conteúdo para gerar as diretrizes teóricas. Foram identificados dimensões e componentes (CAMPENHOUDT; QUIVY, 2003) teóricos para orientação para implantação da EC em projetos de arquitetura modular, com base na literatura de referência, conforme Figura 1. Extraíu-se dos estudos teóricos as dimensões, bem como seus componentes que estão expressos na forma das diretrizes na parte III deste trabalho.

Figura 1 – Modelo teórico das dimensões e componentes da arquitetura modular



Fonte: Autora (2021).

Tais dimensões e seus componentes foram observados na literatura como pontos relevantes ao se pensar em projeto modular. As diretrizes serão confrontadas com as políticas públicas formalizadas, normas em geral que afetam direta ou indiretamente os projetos de arquitetura modular e as experiências bem-sucedidas no Brasil e no mundo. Nesse aspecto foram consultadas a legislação brasileira na esfera municipal, estadual e federal para identificar elementos que se enquadrem como diretrizes para projetos de arquitetura modular, porém, neste caso, itens compulsórios que constam nas normativas legais. Também foram identificados dados públicos e casos de

sucesso (*benchmarking*) em projetos de arquitetura modular no Brasil e no mundo disponíveis em websites institucionais de empresas de engenharia e arquitetura. O estudo foi conduzido conforme o diagrama da Figura 2,

Figura 2 – Etapas de execução do projeto de pesquisa



Fonte: Autora (2021).

Após verificar se as diretrizes são consonantes com a prática e a legislação vigente, as categorias teóricas foram submetidas ao crivo de especialistas na área de arquitetura, engenharia, sustentabilidade, entre outras, com destaque e atuação em projetos desta natureza ou similares a partir de um formulário online realizado por meio da ferramenta *Google forms*.

As diretrizes finais para projetos modulares serão resultado dessa validação que serão aplicadas em um projeto considerado modular executado nos campi do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS) para verificação de compatibilidade.

4. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E DE CONTEÚDO

O trabalho científico começa pela pesquisa bibliográfica (ARIA et. al, 2017) e a partir do processo de análise bibliométrica e estudo teórico, é possível elencar meios para intervenções práticas. Para demonstrar e explanar sobre o que tem sido dito a respeito do tema, esse trabalho pretende revisar os estudos que tratam de alternativas para a construção civil no âmbito da EC.

A abordagem da pesquisa teve como intenção documentar as produções técnico científicas existentes relacionadas à arquitetura modular, o setor da construção civil e a EC publicados nas bases *Scopus* e *Web of Science* (WoS), as duas principais plataformas de busca por trabalhos científicos e acadêmicos de repercussão global, contendo publicações de diversos periódicos.

Uma forma de apreender as informações centrais do tema em ambas as bases foi realizar o mapeamento cienciométrico, identificando, de forma quantitativa e qualitativa, classificação de acordo com o tema, ocorrência de palavras-chave e suas cadeias de palavras, os principais periódicos e seus respectivos índices. O uso da bibliometria tem permeado todas as disciplinas (ARIA, 2017), por isso sua análise é importante para um contexto multidisciplinar da pesquisa. Foi utilizado o método para identificar a base de conhecimento que correlaciona a EC com a arquitetura modular e estruturar a base conceitual na comunidade científica.

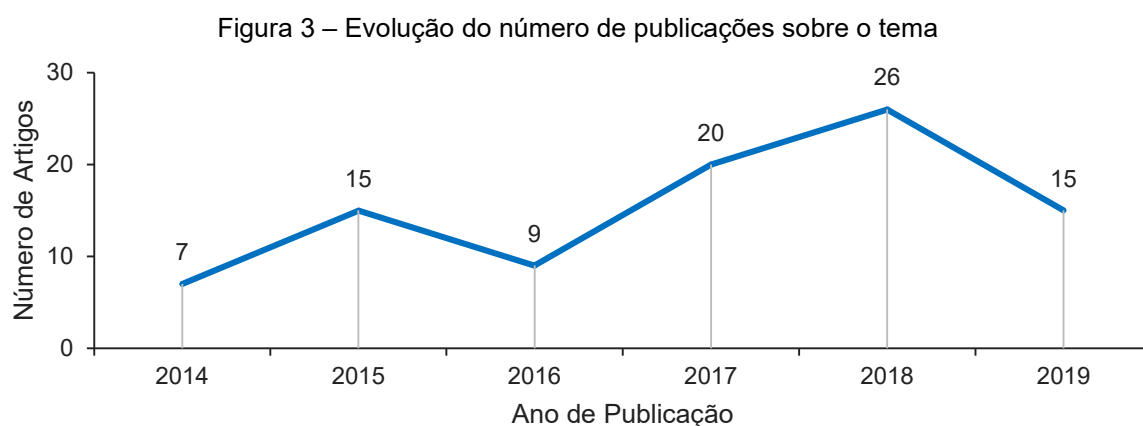
Para a triagem das referências que relacionam os temas de modularização e EC, foi utilizada a seguinte combinação de palavras para identificar sua ocorrência no título, palavras-chave ou resumo do documento: *modularization* OR "*circular economy*" OR "*natural resources*" OR *disassembly* OR *deconstruction*) AND (*architect** OR "*civil construct**" OR *Building* OR "*construct* waste*" OR "*sustainable materials*" OR "*construct* materials*").

Entre várias filtragens de termos de pesquisa, foram analisados aqueles que responderam melhor ao conteúdo para a análise bibliométrica. Foram eliminados: (i) documentos em duplicidade, (ii) documentos que eram de outras disciplinas que não são de interesse como: química, medicina e mecânica, por exemplo. A filtragem final foi norteada pela escolha de artigos que abordassem como tema a arquitetura modular como solução construtiva em um contexto de EC como guia mestre para a

sustentabilidade do setor da construção civil, no amplo significado do termo. Essa etapa final resultou em um portfólio contendo 91 artigos na janela temporal de 2014 a 2020.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em um primeiro momento, ao coletar os artigos por ano (Figura 3) num recorte temporal dos últimos seis anos, mesmo antes da filtragem, detectou-se um aumento nas pesquisas relacionadas à temática.



Fonte: Autora (2021).

Foram elencados os periódicos com três publicações ou mais no portfólio (ver Tabela 1). Cinco periódicos continham mais de três publicações correlatas ao tema sendo eles: *Buildings*, *Automation in Construction*, *Sustainability*, *Journal of Cleaner Production* e *Resources, Conservation and Recycling*, todos internacionais.

A Tabela 1 contém os índices h5 e as medianas h5 para verificar a força e relevância das publicações de cada periódico. O *Journal of Cleaner Production* possui os maiores índices, sendo eles índice h5 = 154 e mediana h5 de 208. O periódico *Sustainability* apresenta os índices h5 e mediana h5 de 78 e 113, respectivamente. *Automation in Construction* tem os índices h5 e mediana h5 de 73 e 103 respectivamente, seguida pelo periódico *Resources Conservation and Recycling* com índices h5 de 76 e mediana h5 de 99. E por último, o periódico *Buildings* com índice h5 equivalente a 27 e mediana h5 igual a 23.

Foi utilizado o website do *Google Scholar* para recuperar e analisar citações acadêmicas das revistas citadas a partir dos índices h5 e mediana h5. O índice h5 é o indexador h dos artigos publicados nos últimos cinco anos de cada periódico, em

que h artigos publicados nos últimos cinco anos tenham sido citados no mínimo h vezes cada. A mediana h5 de uma publicação consiste na média de citações para os artigos que compõem seu índice h5 (tabela 1). Thomaz (2011) aponta que para pesquisadores é importante entender alguns índices bibliométricos já que muitas vezes os trabalhos são avaliados mediante essas ferramentas.

Tabela 1 – Periódicos e Índices

Periódico	Nº de artigos	Escopo	Fator de impacto	índice h5	Mediana h5
Journal of Cleaner Production	5	Voltado a práticas sustentáveis que contemplem o meio ambiente e produção mais limpa. Muitos dos seus artigos mais citados têm relação direta com os conceitos de EC, além de envolver frequentemente publicações das áreas de arquitetura e design, ciências ambientais e engenharia.	7,246	154	208
Sustainability	5	Sustentabilidade em todas as suas ramificações, isto é: erradicação da pobreza, fome zero e agricultura sustentável, saúde e bem-estar, educação de qualidade, igualdade de gênero, água limpa e saneamento, energia limpa e acessível, trabalho de decente e crescimento econômico, inovação infraestrutura, redução das desigualdades, cidades e comunidades sustentáveis, consumo e produção responsáveis, ação contra a mudança global do clima, vida na água, vida terrestre, paz, justiça e instituições eficazes, parcerias e meios de implementação.	5,301	78	113
Automation in Construction	5	Uso de Tecnologias da Informação em Projeto, Engenharia, Tecnologias de Construção e Manutenção e Gerenciamento de Instalações Construídas. O escopo da revista abrange todas as etapas do ciclo de vida da construção, desde o planejamento e projeto inicial, construção, sua operação e manutenção dela, até a eventual desmontagem e reciclagem de edificações.	5,669	73	103
Resources, Conservation and Recycling	7	Enfoque em sistemas de produção e consumo mais sustentáveis, práticas como reciclagem e gestão de recursos, bem como aspectos técnicos, sociais, econômicos, políticos de estratégias mais eficientes. Outros assuntos abrangentes também estão em seu escopo como ciclo de vida e alternativas renováveis.	8,086	76	99
Buildings	3	Ambiente construído, edificações e a interação humana.	3,887	27	23

Fonte: Autora (2021).

Introduziu-se o índice h5 e a mediana h5 para verificar a força e relevância das publicações de cada periódico. *Journal of Cleaner Production* possui os maiores índices, sendo eles índice h5 = 154 e mediana h5 de 208. O periódico *Sustainability* apresenta os índices h5 e mediana h5 de 78 e 113 respectivamente. *Automation in Construction* tem os índices h5 e mediana h5 de 73 e 103 respectivamente, seguida pelo periódico *Resources Conservation and Recycling* com índices h5 de 76 e mediana h5 de 99. E por último, o periódico *Buildings* com índice h5 equivalente a 27 e mediana h5 igual a 23. A coluna escopo foi preenchida a partir de uma interpretação do texto oficial contido nos websites das revistas a respeito de suas publicações e temáticas de interesse. É possível pontuar que, apesar do maior número de publicações do periódico *Resources, Conservation and Recycling, Journal of Cleaner Production* e o *Sustainability* tem maior impacto; isto é maior número de citações em suas publicações, que refletem a qualidade acadêmico-científica e a relevância de cada texto.

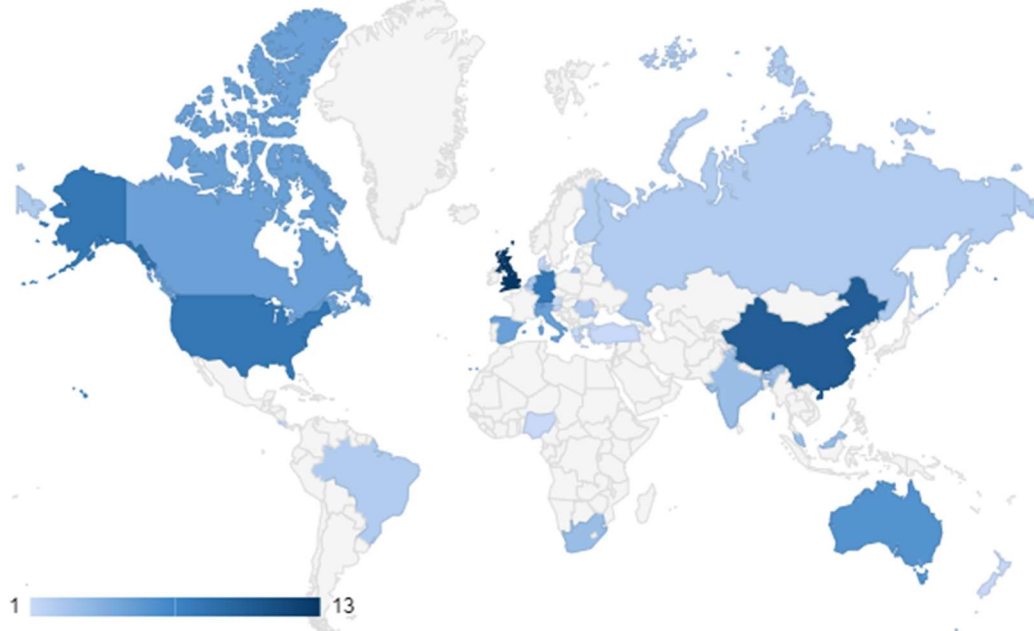
Em seguida, os artigos foram divididos por continente de origem (Figura 4), uma discussão a ser feita devido a diferenças, culturais, produtivas, socioeconômicas entre outras. Além disso, confrontar dados quantitativos das pesquisas com fatores como a construção civil ser responsável por um terço de todos os resíduos gerados na União Europeia (DENIS, 2018).

A divisão por continente evidenciou o maior interesse pelo tema no continente Europeu (total de 47 artigos), seguido pela Ásia (total de 19 artigos), América do Norte (11), Oceania (8), África (3), América do Sul (2) e América Central (1). O aumento do interesse no conceito de EC pode ser atribuído ao fato de ser um recurso de implementação do conceito de desenvolvimento sustentável nas empresas (GHISELLINI *et al.*, 2016; MURRAY *et al.*, 2017), conceito este cada dia mais presente nas discussões tanto do setor público como privado.

É presumível que o maior interesse no tema de pesquisa no continente europeu se deva ao fato da Europa ser o berço do conceito de EC na década de 70 e onde foi ganhando maior visibilidade. Abordado a princípio por Ellen MacArthur Foundation, o modelo de EC surge como alternativa de produção e consumo, que possibilitaria o

alinhamento do crescimento econômico com o desenvolvimento ambiental e econômico sustentável.

Figura 4 - Artigos por continente



Fonte: Autora (2021).

Coincidentemente, as primeiras expressões arquitetônicas modulares são originariamente europeias. Uma das maiores contribuições arquitetônicas foi a escola e movimento da Bauhaus (BENEVOLO, 2001), em que foi explorado o recurso industrial de produção em série. Não apenas restrita à habitação, a arquitetura modular reúne outros grandes exemplos de edificações ao longo da história que objetivavam se fazer valer dos recursos que a industrialização oferecia.

Figura 5 - Bauhaus

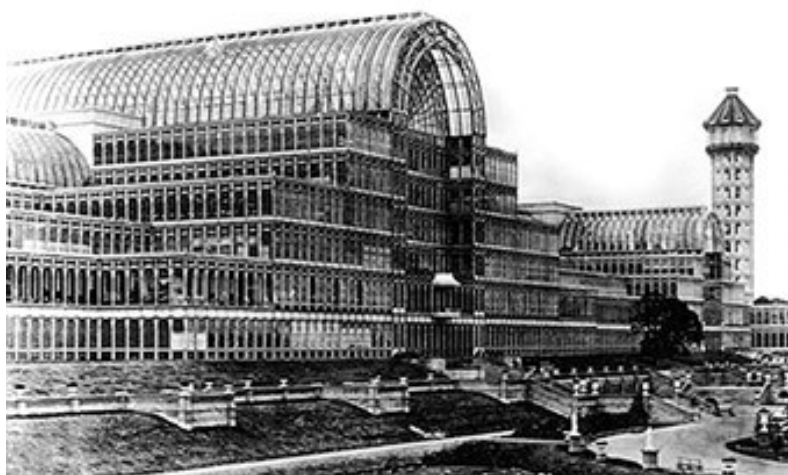


Fonte: Archdaily, 2018.

A ideia original era criar uma produção arquitetônica em série a partir de um módulo ou bloco construtivo, poupando tempo e recursos. Contemporânea a uma Alemanha em declínio, uma alta inflação que estrangulava a atividade no setor da construção. Nesse momento de alta demanda em curto período na Alemanha se tem uma das maiores contribuições arquitetônicas da Bauhaus, onde foi explorado o recurso industrial de produção em série. Nessa fase embrionária do surgimento da arquitetura modular, alguns problemas foram enfrentados em relação à qualidade e o design (ÅGREN *et. al*, 2014), aliados aos desafios para implantar a EC no setor da construção civil.

A arquitetura modular e industrial visa otimizar produção e reduzir custos, contudo isso não pode significar má qualidade e baixo desempenho. Não apenas restrita à habitação, a arquitetura modular reúne outros exemplos de edificações ao longo da história que objetivavam se fazer valer dos recursos que a industrialização oferecia. Um desses memoráveis e pioneiros exemplos é o Palácio de Cristal, de Joseph Paxton, para a Exposição Universal de Londres de 1851 (figura 6). Paxton foi pioneiro no uso de elementos pré-fabricados em aço e vidro, materiais até então considerados apenas como estrutura ou acabamento, representando grande avanço na arquitetura e no conceito de produção em massa (GARONE *et. al*, 2008).

Figura 6 – Palácio de Cristal, de Joseph Paxton



Fonte: Crystal Palace, 2021

Outro exemplo de arquitetura modular, é a Millard House (La Miniatura), primeira residência modular projetada pelo arquiteto Frank Lloyd Wright, localizada Pasadena, California, executada entre os anos de 1923 e 1924.

A obra é composta por blocos de concreto aparente ornamentais moldados in loco e projetados pelo próprio arquiteto.

Figura 7 – Milard House



Fonte: Casa abril, 2021

A partir da grande depressão americana de 1929, Wright percebeu a necessidade de projetar residências que pudessem ser um pouco mais democráticas ao se tratar de custo. Então surgiram suas famosas casas chamadas “casas usonianas”, com plantas em L com objetivos comuns a arquitetura modular de repetição, racionalidade e economia.

Figura 8 – Rosenbaum House (1939)



Fonte: Wright, 2021.

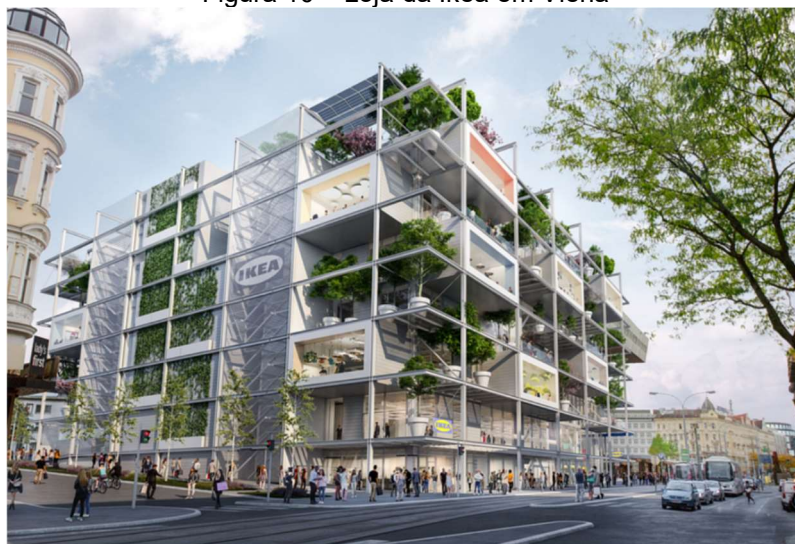
Figura 9 – Interior da Resenbaum House



Fonte: Wright, 2021.

A solução modular arquitetônica a partir de blocos construtivos, originada por Walter Gropius, foi implementada ao longo dos anos por empresas que oferecem padronização e personalização conferindo modernidade e qualidade às novas construções. O conceito de módulo também evoluiu ao longo dos anos, passando a englobar a capacidade de ser combinado com outros módulos de acordo com a forma e função desejada (VIERO *et. al*, 2016).

Figura 10 – Loja da Ikea em Viena



Fonte: Lafaete locação, 2019.

Para verificar se a evolução conceitual da arquitetura modular é aceita na prática por tomadores de decisão e usuários, é interessante uma análise a respeito da tipologia dos artigos encontrados, se são pesquisas e experimentos do tipo teórico ou prático.

Para tanto, é interessante uma terceira análise a respeito da tipologia dos artigos encontrados, se são pesquisas do tipo teóricas ou empíricas. Ao analisar o portfólio selecionado, verificou-se 40 artigos considerados empíricos e 51 teóricos. Em uma análise dentro do recorte temporal atual, espera-se que nos próximos anos a modularização na arquitetura se popularize como estratégia. No Brasil, apesar da implementação de novas legislações e selos, o setor da construção ainda se comporta com certa resistência à inovação e à industrialização de seus componentes e boa parte dos canteiros de obra se mantêm os métodos mais artesanais de produção. Tal fato é atribuído à concentração de literatura e informações relacionadas a países desenvolvidos enquanto naqueles em desenvolvimento, é apontada carência de informações, dados inadequados e imprecisos relacionados à construção, melhores práticas e materiais (ABARCA-GUERRERO, 2017).

É imprescindível a ampla difusão do tema, que é bastante pesquisado, tanto no âmbito teórico quanto para munir os tomadores de decisão de estratégias, recursos e diretrizes reais para a implementação de projetos modulares. Também é importante popularizar dados que provem a eficácia não apenas em desempenho ambiental, térmico e de qualidade arquitetônica dos projetos modulares, mas também as vantagens econômicas e de redução de tempo de execução, isso tem despertado interesse da iniciativa privada em relação a EC. Estudos na Holanda demonstraram um potencial de cerca de 7,3 bilhões de euros por ano em valores de mercado gerados por meio da EC, levando a 54.000 empregos e inúmeros benefícios ambientais (KALMYKOVA *et al.*, 2018). Além dos dados apresentados, o crescimento do número de artigos de cunho prático mostra que é essencial para exemplificar o que os números e diretrizes e que é ser possível e vantajoso de se aplicar no mercado da construção. Com o objetivo de examinar quais os temas citados com mais frequência ao se tratar de arquitetura no contexto da EC, foi elaborado um quadro com os 10 artigos mais citados do portfólio, seus respectivos assuntos centrais e observar em quais periódicos estão publicados, suas citações e índices h5. Ao analisar os dez artigos mais citados do portfólio (Tabela 2) é possível pontuar que 7 dos 10 artigos mais citados são publicações de 3 das 5 revistas com maior número de publicações relacionados ao tema.

Tabela 2 - Artigos mais citados

Fonte	Assunto	Nº de citações	Periódico	Índice h5
Volk; Stengel e Schultmann, 2014.	Uma revisão da literatura a partir de uma visão teórica sobre benefícios da gestão eficiente da implementação do uso de BIM em edifícios existentes.	1483	<i>Automation in Construction</i>	103
Korhonen; Honkasalo e Seppälä, 2018	Apresenta diferentes conceitos na construção da definição de EC sob o viés crítico de aplicações para o desenvolvimento sustentável. Elenca também seis desafios a serem pesquisados e superados a fim de que a EC possa contribuir de maneira eficaz para a sustentabilidade.	1078	<i>Ecological Economics</i>	70
Kalmykova; Sadagopan e Rosado, 2018.	Revisão de literatura sobre conceitos e estratégias de EC com o objetivo de desenvolver ferramentas para a implementação da mesma no futuro de maneira sistêmica e não somente focado em materiais.	469	<i>Resources, Conservation and Recycling</i>	99
Prieto-Sandoval; Jaca e Ormazabal, 2018.	Propor uma visão consensual dos inúmeros conceitos e aplicações de EC relacionando-a com a ecoinovação, a partir de uma revisão de literatura.	341	<i>Journal of Cleaner Production</i>	154
Adams, <i>et al.</i> , 2017	Enfoque da aplicação de conceitos de EC de forma sistêmica e não apenas limitando-se à reciclagem. Fornece uma análise sobre a consciência da indústria, desafios e facilitadores da EC.	178	<i>Waste Management and resource</i>	32
Akbarnezhad; Ong e Chandra, 2014.	Estudo de caso para comparar diferentes estratégias de desconstrução e verificar suas aplicações a partir de um modelo de construção.	156	<i>Automation in Construction</i>	103
Akinade, <i>et al.</i> , 2015.	A partir de revisão teórica, é desenvolvido um Índice de Avaliação de Potencial desconstrutivo baseado em BIM para determinar o potencial desconstrutivo de um edifício desde a etapa inicial de projeto.	118	<i>Resources, Conservation and Recycling</i>	99
Akanbi, <i>et al.</i> , 2018.	Baseado em BIM e a partir de uma revisão teórica que identifica os fatores de desempenho dos componentes de uma edificação, é desenvolvido o Estimador de Desempenho de Vida Útil (BWPE) para avaliar o desempenho para reuso de componentes estruturais de edifícios ao longo de sua vida útil.	98	<i>Resources, Conservation and Recycling</i>	99
Akinade, <i>et al.</i> , 2017.	Este estudo discute os rumos futuros do Design para desconstrução a partir do desenvolvimento de ferramentas compatíveis com BIM para identificar materiais e permitir a desmontagem das edificações.	92	<i>Waste Management</i>	86
Jin; Yuan e Chen, 2019.	Trabalho de análise bibliométrica da literatura no que se refere a pesquisa de gestão de resíduos da construção desde 2009. A partir das palavras-chave, a pesquisa demonstra tendências futuras para pesquisadores, como BIM, construção pré-fabricada, Big Data e EC.	83	<i>Resources, Conservation and Recycling</i>	99

Fonte: Autora (2021).

Também se observa em quatro deles a tentativa de construção de um consenso a partir de várias definições de EC focada em minimizar o uso de recursos naturais e produção de resíduos (KORNHONEN *et al.*, 2018; KALMYKOVA *et al.*, 2018) para implementação da mesma a partir de estratégias como ecoinovação. De acordo com Adams (2017), apesar da vasta literatura sobre os benefícios da EC, existe pouca pesquisa no contexto da construção civil e arquitetura. Apenas Akbarnezhad (2014) trata de estratégias de desconstrução de edificações. Os outros cinco artigos restantes têm relação com uso de softwares BIM, seja para o uso em edifícios existentes, ou para desenvolvimento de ferramentas complementares para avaliar desempenho e potencial desconstrutivo. Os softwares BIM permitem o desenvolvimento colaborativo de equipes multidisciplinares, o que diminui a incorrência de erros e incompatibilidades (BEZERRA *et al.*, 2018), o que representa um nível mais elevado de qualidade dos projetos, item importante ao se tratar de elementos pré-fabricados e com certa rigidez para alterações em obra.

Para análise de conteúdo de coocorrência de palavras-chave, foi realizada a conversão de dados para leitura pelo software Iramuteq (CAMARGO; JUSTO, 2013). O corpus textual analisado foi constituído dos resumos dos artigos do portfólio sobre arquitetura modular e a EC, após passar por uma verificação de erros ortográficos e exclusão de caracteres especiais.

De acordo com Callon *et al.* (1983), a análise de ocorrência de palavras-chave é importante para compreender a estrutura conceitual de um campo de pesquisa. É possível identificar na literatura consultada os principais eixos de pesquisa relacionados à arquitetura modular no contexto da EC baseado nas palavras de maior ocorrência. Observa-se que a modularização em si como recurso projetual dentro de uma visão de EC ainda está pouco presente nos estudos analisados. Como as vantagens não são evidentes, bem como a ausência de consenso teórico e empírico, a padronização da modularização torna-se um desafio a ser suplantado (BONVOISIN, 2016).

A divisão proposta entre artigos de cunho teórico e prático, proporcionou outra análise de palavras-chave e conexões de ideias separadamente em pesquisas teóricas e práticas para verificar se a arquitetura modular como estratégia estava mais presente

Fonte: Autora (2021).

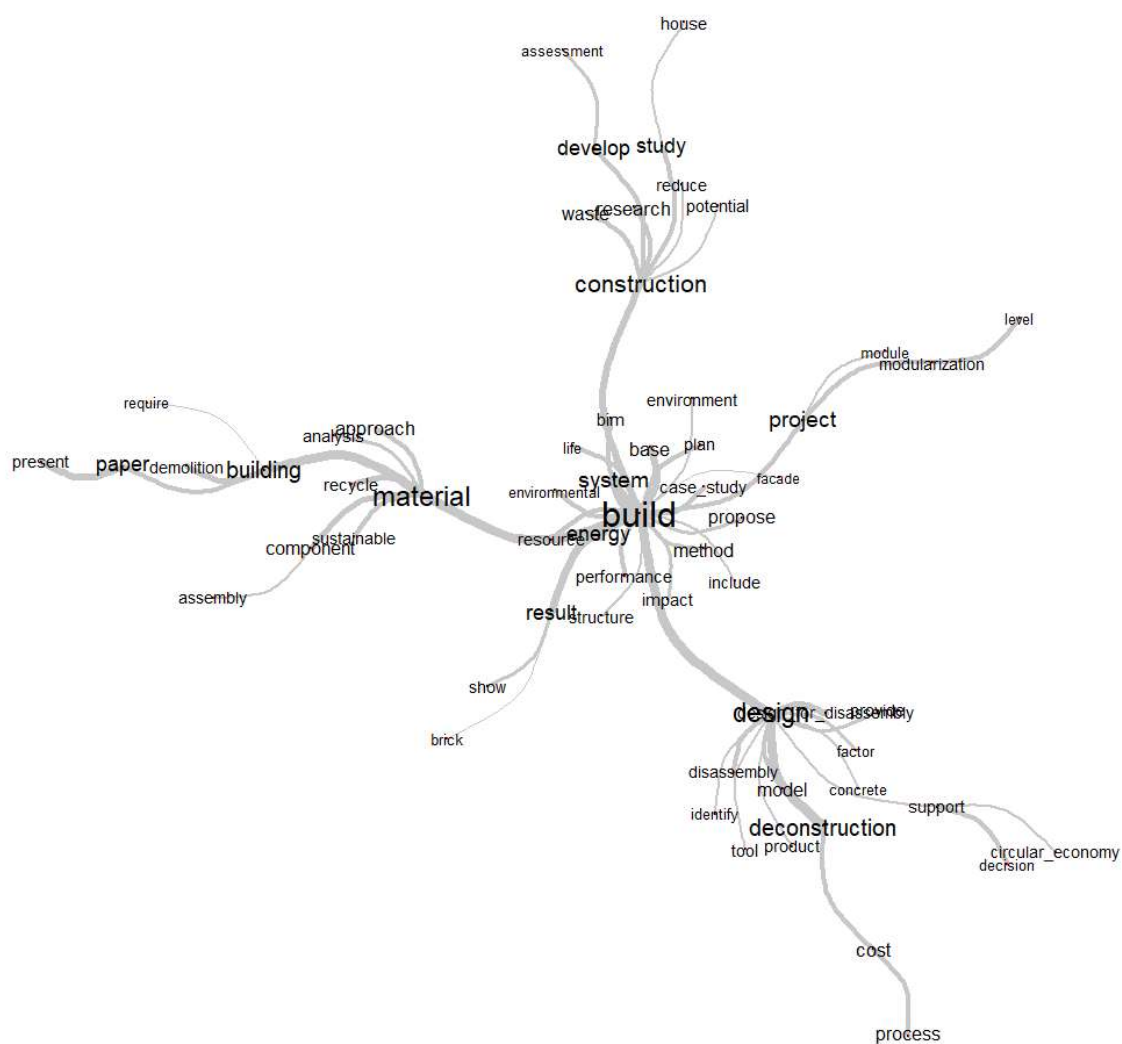
Outros termos dentre os mais relevantes foram: “*Building*”, “*deconstruction*” e “*recycle*”. “*Reuse*” é citada menos vezes do que “*recycle*”, o que para a EC pode ser interpretado como ser menos desejável reciclar do que reutilizar, pois perde-se valor. Para a EC, utilizar um mesmo produto ou serviço com valor econômico muitas vezes após a extração da natureza (Korhonen, Honkasalo *et al.*, 2018). A terminologia “*modularization*” (9) e “*design for disassembly*” são menos expressivas do que “*deconstruction*”. No campo teórico, as pesquisas apontam para a desconstrução ao invés de pensar prioritariamente em projetos para desmontagem e a arquitetura modular. Entretanto, Oyedele *et al.* (2014) argumentaram que a recuperação de componentes de construção para realocação e reutilização continua sendo o propósito de desconstrução preferido porque requer menos energia e novos recursos. Isso ocorre porque outros propósitos de desconstrução requerem energia e materiais adicionais para reprocessar ou reciclar materiais recuperados.

A análise de similitude evidencia as coocorrências entre as palavras e a conexão entre elas e dá ideia de como o texto está estruturado (SILVA, 2019). Na Figura 14, observa-se que a terminologia de EC é mais abordada na arquitetura relacionada ao desenvolvimento de estratégias para implementação no futuro. Ao mesmo tempo que também está vinculada à reciclagem e reuso dos resíduos da construção civil e à projetos para desmontagem e desconstrução. Akinade *et. al* (2017) apontam que uma legislação rigorosa e diretrizes de projeto são fundamentais para projetos para desmontagem de edifícios.

No que se refere a palavras-chave mais frequentes no grupo de pesquisas práticas (Figura 12), as terminologias mais frequentes foram: “*build*” (107), “*material*” (77), “*design*” (65), “*deconstruction*” (55), “*construction*” (54), “*building*” (48). Já o termo “*modularization*” (17) tem uma frequência maior do que no grupo de pesquisas teóricas. Observa-se que a terminologia de EC é menos frequente do que no grupo de pesquisas teóricas. Em uma análise de ocorrência de palavras-chave em pesquisas de tipologia prática, termos como “*design*”, “*deconstruction*”, “*Project*” e “*BIM*” são mais recorrentes.

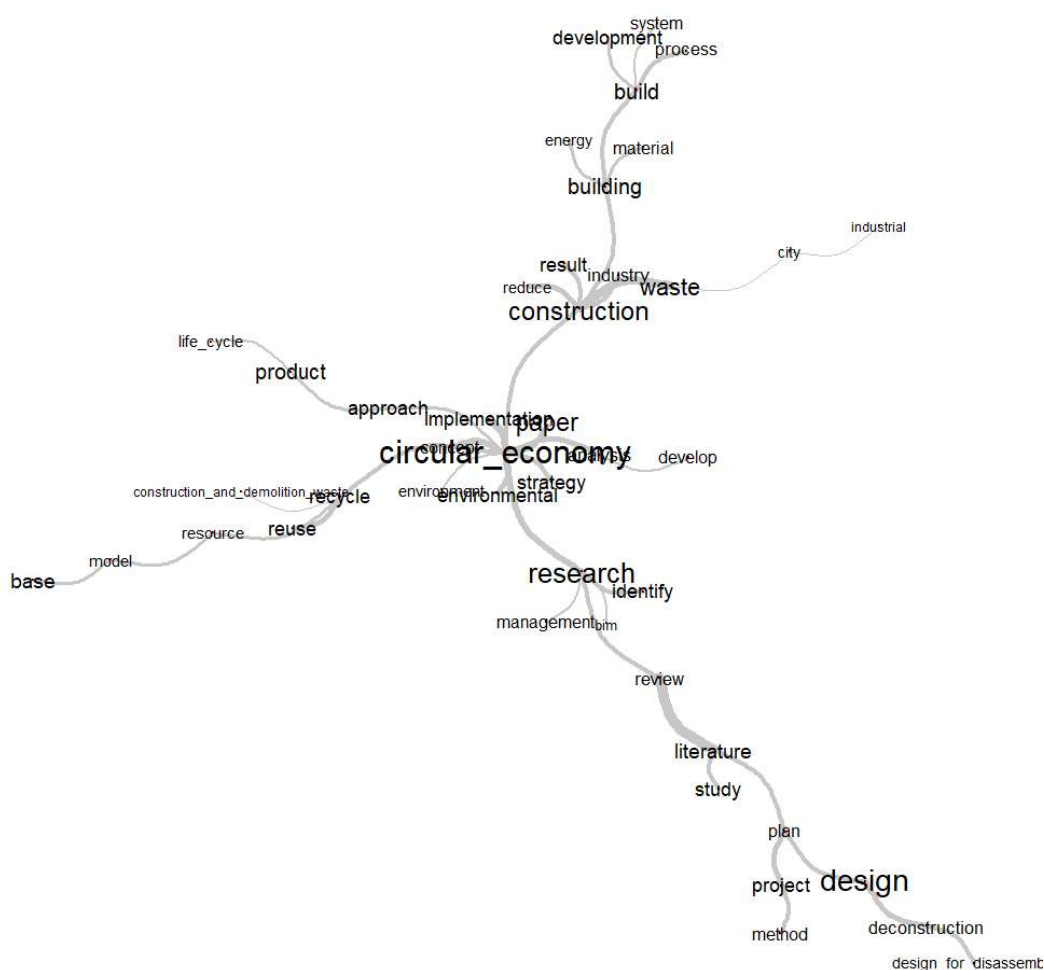
Ao analisar as conexões formadas entre as palavras-chave em pesquisas teóricas (Figura 13), podemos dividir em três grandes eixos (nós) de pesquisa baseadas em medidas de similaridade. O primeiro nó (vértice), representado por pesquisas relacionadas a materiais, reuso dos resíduos da construção e reciclagem, onde arquitetura e projeto são vertentes pouco representativas. O segundo nó, representado pelo termo “*Build*” tem maior número de ramificações e onde encontra-se o termo “*modularization*”, método construtivo em enfoque neste trabalho para identificá-lo como estratégia dentro da EC. Tal conceito desvincula-se do terceiro nó, relativo a temáticas concernentes a EC, desconstrução e projeto para desmontagem. Na cadeia de palavras-chave em pesquisas práticas (Figura 14), é possível identificar três grandes nós. O primeiro nó representado pela palavra “*design*” no qual suas ramificações abordam temáticas de projeto para desmontagem, design de produto e ciclo de vida.

Figura 13 - Cadeia de palavras-chave em pesquisas teóricas.



Fonte: Autora (2021).

Figura 14 - Cadeia de palavras-chave em pesquisas práticas.



Fonte: Autora (2021).

O segundo nó representado pela palavra “*research*” o qual aparece vinculado a artigos de revisão e relacionados a pesquisas envolvendo softwares BIM. O terceiro e maior nó é identificado pelo termo “*circular economy*”, onde aparecem termos correlatos a implementação de políticas e sustentabilidade, além de ser abordado ao lado de palavras-chave de reuso, reciclagem e resíduos da construção.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível constatar um predomínio de pesquisas correlatas ao tema no continente europeu e predominantemente de tipologia teórico-conceitual o que pode representar maior convicção teórica do que aplicação, bem como certa resistência do mercado da construção em implementar a modularização e a EC em suas práticas cotidianas.

Embora em 2019 ocorreu uma queda no número de publicações quando comparadas as publicações de 2018, o recorte temporal do estudo demonstrou um crescimento de interesse indicado pelo número de e publicações a respeito do tema em periódicos de relevância e referências nas áreas de engenharia, arquitetura e recursos naturais.

As correlações nas cadeias de palavras-chave tornaram possível diagnosticar lacunas relacionadas à pouca informação a respeito de estratégias e diretrizes que envolvam de maneira mais incisiva a arquitetura modular dentre outras estratégias de EC, o que pode ser tema de pesquisas futuras. O crescimento do número de artigos de cunho prático é relevante para popularizar números e diretrizes que provem as vantagens de se aplicar no mercado da construção. Observou-se pelos artigos mais citados que chegar ao um consenso na definição de EC tem se mostrado um desafio para implementação dela por meio de estratégias arquitetônicas.

Evidenciou-se também um número crescente de pesquisas relacionadas a ciência dos materiais e uso de BIM para compatibilização de projetos, gerenciamento e execução, contudo, para explorar o potencial desconstrutivo de edificações, existe a necessidade de ferramentas complementares muitas vezes. Entretanto, observa-se que a modularização em si como recurso projetual dentro de uma visão de EC ainda está pouco presente nos estudos analisados. Para tanto, estudos futuros que demonstrem vantagens de métodos mais sustentáveis poderiam incentivar tomadores de decisão a implementares novas práticas.

Capítulo 2 - Panorama cienciométrico sobre Arquitetura Modular no âmbito da Economia Circular

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da era da industrialização, notou-se aumento na produção e consumo de bens e insumos com o predomínio de um modelo produtivo linear que segue a sequência extração-produção-uso-descarte dos recursos (FROSCH; GALLOPOULOS, 1989) que se tornou insustentável do ponto de vista ambiental.

O modelo de Economia Circular (EC) surgiu como alternativa ao modelo linear de produção e consumo, abordado a priori pela Ellen MacArthur Foundation (EMF, 2015), que possibilita o alinhamento do crescimento econômico com o desenvolvimento ambiental e econômico sustentável. A partir da era industrial, houve êxodo rural e a maior parte da população mundial atualmente se concentra nos grandes centros urbanos. Nota-se especialmente em países em desenvolvimento elevados índices de urbanização e densidade demográfica e o crescimento populacional, as mudanças no estilo de vida da população e em seus hábitos de consumo e serviços exigem da indústria da construção civil uma maior demanda por moradia (DELFANI *et al.*, 2016) e a industrialização ainda é uma resposta atual para atender altas demandas habitacionais sem ausentar-se da responsabilidade com qualidade, custo e o desenvolvimento sustentável. No Brasil, se observa o fenômeno do êxodo rural e consequente urbanização em maiores proporções em meados do século XX. Esses fatores somados ao crescimento demográfico aumentaram a demanda habitacional e de serviços. O tema, com enfoque em habitações sociais especificamente, é desafiador para o governo e políticas públicas pois esbarram na dificuldade de assegurar qualidade e custo (ZAIRUL *et al.*, 2018).

A EC, empregada em qualquer setor, não significa a eliminação de recursos finitos na cadeia de produção. Entretanto, os mesmos recursos, após empregados na produção de um determinado produto, se mantêm ao máximo no ciclo por meio do reuso, reparo, redistribuição, remanufatura e/ou reciclagem, evitando ao máximo a desvalorização, o descarte e o desperdício. Os recursos se mantêm total ou parcialmente na cadeia produtiva, reduzindo a demanda por recursos naturais e a geração de resíduos, bem

como a redução de custos e de consumo de energia. A EC atraiu bastante atenção por ser um meio para alcançar o tão almejado conceito delineado durante a *World Commission on Environment and Development* (WCED) em 1987, de que desenvolvimento sustentável é suprir as necessidades das gerações atuais sem comprometer os recursos e as necessidades das gerações futuras. Foram desenvolvidas definições da EC, todas com princípios similares e com enfoque na eliminação do desperdício e a maximização do valor dos materiais (ADAMS *et al.*, 2017; MINUNNO, 2018).

Empresas e governantes enxergaram na EC uma possibilidade de combinar crescimento econômico com reduções de custo e de impactos ambientais, o que atenderia a pressões de legislações mais rigorosas em relação a conservação de recursos para que o desenvolvimento sustentável se torne uma prática consolidada. Estudos na Holanda demonstraram um potencial de cerca de 7,3 bilhões de euros por ano em valores de mercado gerados por intermédio da EC, com criação de cerca de 54.000 empregos e inúmeros benefícios ambientais (KALMYKOVA *et al.*, 2018).

O modelo de EC é abrangente e multifacetado, podendo ser aplicado nos diferentes setores de produção e consumo da sociedade globalizada. Além disso, a interdisciplinaridade entre ciências naturais, ciências sociais, engenharia e gestão tornou-se essencial para enfrentar os desafios ambientais atuais (SAUVÉ, 2016) e entre as áreas de aplicação com maior potencial está a indústria da construção civil, uma das atividades humanas de maior impacto ambiental e de grande dependência de recursos naturais (GUERRERO, 2016). A criação ou o resgate de estratégias que diminuam os impactos do consumo desenfreado é necessária devido à condição finita dos recursos empregados neste setor. A construção civil apresenta um mercado desafiador para o desenvolvimento sustentável, pois o cenário competitivo fomenta o descarte de resíduos de forma mais econômica e rápida, e a negligência quanto a responsabilidade com o meio ambiente. De acordo com Zanni *et al.* (2018), o consumo de matéria-prima não renovável do setor representa em torno de metade do consumo mundial, o que resulta em cerca de metade dos resíduos sólidos gerados.

A regulamentação de legislação específica, como a Resolução nº 307 do CONAMA (2002) no âmbito do território brasileiro, que estabelece diretrizes, critérios e

procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil é responsável por uma reestruturação de técnicas e abordagens ambientais. Têm-se buscado métodos construtivos sustentáveis para solucionar a questão dos resíduos, mas que garantam a viabilidade técnica e econômica, sem comprometer aspectos de qualidade e conforto.

Diante deste quadro, surge a questão que orienta esta pesquisa que é identificar quais caminhos a indústria da construção civil pode seguir para se adequar ao modelo de economia circular. Neste sentido, um dos recursos projetuais para a construção civil mais alinhados com a EC é a arquitetura modular, pois entre seus benefícios estão sua rapidez e menor utilização de recursos naturais para sua execução, bem como viabiliza construções rápidas e de fácil instalação e de desinstalação podendo ser reaproveitadas em novos locais de modo a reduzir custos e resíduos, isto é, mais flexível e eficaz do que sistemas construtivos convencionais.

Este trabalho pretende explorar a modularização como um recurso projetual ligado a EC e como estratégia de gestão diante de enfrentamentos como alta demanda, situações emergenciais e escassez cada vez maior de recursos. O objetivo deste capítulo é identificar as principais diretrizes para avaliar o desempenho do projeto e edificação para desconstrução e os desafios enfrentados pelo setor incorporar a EC em sua cadeia de produção.

Uma análise comparativa foi realizada por meio de pesquisas bibliográficas sobre evolução do mercado da construção civil ao longo do processo de industrialização e da era digital, bem como sua relação paradoxal do setor consumidor intensivo de recursos e energia diante da busca pelo desenvolvimento sustentável.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este artigo configura-se como uma revisão de literatura (ROWLEY; SLACK, 2004; KNOPF, 2006; RANDOLPH, 2009; WEE; BANISTER, 2016) elaborada pela estratégia de pesquisa denominada de revisão sistemática (KITCHENHAM, 2004; HALLINGER; CHATPINYAKOOP, 2019). Analisaram-se exclusivamente dados secundários oriundos de metadados de artigos científicos indexados na base Scopus, considerada uma das maiores bases de dados multidisciplinares em número de trabalhos e de relevância para o meio acadêmico (JACSÓ, 2005; ARCHAMBAULT, 2009) (Tabela 1).

Os artigos foram selecionados na base Scopus utilizando a string de busca: “*modularization*” OR “*circular economy*” OR “*natural resources*” OR “*disassembly*” OR “*deconstruction*”) AND (architect* OR “*civil construct**” OR “*building*” OR “*construct* waste*” OR “*sustainable materials*” OR “*construct* materials*”), considerando sua ocorrência no título, resumo e palavras-chave. Optou-se por priorizar artigos mais recentes e por isso, delimitou-se a busca em uma janela temporal de 2010 a 2020.

Tabela 3: Etapas da Pesquisa

Etapa	Realização	Ferramentas
Definição da plataforma de busca	Definição da base de dados como instrumento de busca.	-
Definição dos termos de busca.	modularization OR “circular economy” OR “natural resources” OR disassembly OR deconstruction) AND (architect* OR “civil construct*” OR building OR “construct* waste” OR “sustainable materials” OR “construct* materials”)	Scopus
Definição temporal.	10 anos (2010 a 2020)	Scopus
Definição das áreas de estudo.	Engenharias, Ciência dos materiais, Ciências Sociais Aplicadas, Ciências Ambientais, Multidisciplinar	Scopus
Definição dos documentos a serem estudados.	Apenas artigos publicados e foram retirados artigos duplicados; ou com foco textual não compatível com as áreas de estudo, ou seja, cujo conteúdo impossibilitasse extrair diretrizes para métodos projetuais sustentáveis, entre eles, mas não exclusivamente, a arquitetura modular	Scopus
Organização do corpus textual (SILVA, 2019).	O corpus textual foi composto pelos resumos dos XXX artigos selecionados que foram codificados, configurados e organizados em um único arquivo, incluindo correção ortográfica, de acordo com as regras para o uso do software de análise de conteúdo (CAMARGO; JUSTO, 2013).	Word
Leitura estatística do corpus textual.	Inserção do banco de dados no software Iramuteq para leitura estatística.	Iramuteq

Fonte: Autora (2021).

O corpus textual foi composto por resumos dos artigos e esta opção se deu porque eles são a representação condensada de documentos científicos (CROSS;

OPPENHEIM, 2006) e fornecem uma visão geral da investigação (PEREIRA, 2013). Após a codificação do corpus textual em um arquivo único, aplicou-se a técnica de análise de conteúdo (BARDIN, 2011), para o levantamento de indicadores (quantitativos e qualitativos) com o apoio do software Iramuteq (*Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*) (SILVA, 2019). Do ponto de vista quantitativo, mediu-se resultados tradicionais, como frequência de palavras, como também se usaram técnicas lexicométricas mais avançadas como a classificação hierárquica descendente (CHD) que é apresentada neste artigo.

O CHD, resultado da lexicometria ou estatística textual dos vocábulos presentes no corpus (SOUSA *et al*, 2020), gera uma árvore com agrupamentos de palavras similares ou próximas, por meio de sucessivos testes qui-quadrado, bem como sua importância relativa para representar o corpus textual inteiro. A partir de uma análise de dados de publicações a respeito da arquitetura modular em um ambiente de EC, com auxílio do software Iramuteq, foram evidenciados desafios a serem ultrapassados para ampla difusão da arquitetura modular ao projetar uma construção. Do ponto de vista qualitativo, foi possível inferir interpretar os conceitos embutidos nas classes da CHD por meio dos conteúdos do corpus textual (CAVALCANTE; CALIXTO; PINHEIRO, 2014).

A análise de CHD e as discussões de cada subgrupo orientaram o levantamento das diretrizes a partir da literatura contida no portfólio, onde foi identificado o que era apontado na literatura como fundamental a construção modular em cada uma das dimensões identificadas. As dimensões geradas a partir da literatura foram: projeto, execução, projeto e execução, manutenção e desmontagem; cada uma delas possui componentes, ou diretrizes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo a descrição do corpus textual realizada pelo software Iramuteq, houve 42.654 ocorrências de palavras, o número médio de palavras por reclamação foi de 215 e o número de hápax, palavras que aparecem uma vez, foi de 1.174, o que representa 49,30% do número de palavras, divididas em 1.202 segmentos de texto. Como resultado, os resumos do portfólio bibliográfico foram divididos pelo Iramuteq em 505 segmentos de texto, com aproveitamento de 413, isto é, 81,78%. Encontraram-se 18.095 ocorrências (palavras), sendo 3.117 palavras distintas e 1.143 de número de hápax (palavras com uma única ocorrência). A partir da CHD, foi possível traçar interpretações acerca das formações de cada classe e buscar compreender as aproximações e afastamentos entre as classes concebidas (RAMOS; LIMA; ROSA, 2018).

Na análise de CHD da Tabela 4, apresentam-se as divisões que resultaram da aplicação do software. Elas foram nominadas de acordo com a temática predominante dos resumos relacionados. Há conjuntos de palavras agrupadas que indicam proximidades lexicais entre os vocábulos e as ramificações da CHD indicam as proximidades entre as classes.

Os percentuais das classes indicam a sua importância para explicar o *corpus* textual e o percentual associado a cada palavra, a relevância para a classe. O valor de qui-quadrado é um indicador da relação entre o vocábulo e a classe, ou seja, quanto maior o valor, mais a palavra é representativa da classe. A Classe 1, nominada como “Políticas públicas e gestão de resíduos” representa 16% do corpus textual, composta por termos relacionados à produção mais limpa, políticas públicas e o impacto ambiental do setor. A Classe 2, nominada como “Energia e recursos naturais” representa 17,7%, com enfoque em palavras-chave ligadas a consumo de energia, água e recursos naturais bem como a poluição e o meio ambiente. A Classe 3, identificada como “BIM, desconstrução e reciclagem”, representada por 24% relaciona estudos de caso, com enfoque na desconstrução e desmontagem de materiais e termos como BIM e reciclagem. A Classe 4, denominada “Implementação da EC”, representa também 24% e é composta por estudos mais teóricos que relacionam desenvolvimento e implementação de ferramentas para aplicar a EC na arquitetura e

3.1 POLÍTICAS PÚBLICAS E GESTÃO DE RESÍDUOS

Este grupamento de artigos demonstra uma crescente preocupação com os problemas ambientais relacionados à geração de resíduos, especialmente em grandes cidades, devido a maiores taxas urbanização e atividades de construção em maior escala. É reforçada a necessidade de políticas e leis regulamentadoras para que medidas urgentes em relação aos resíduos da construção e demolição sejam implementadas (GHISELLINI *et. al*, 2018).

A validação dessa temática se deve principalmente ao fato de que os governos têm papel fundamental para que a agenda do desenvolvimento sustentável se cumpra. A legislação e a política são apontadas por (AKINADE *et al.*, 2017) como o mais relevante fator de sucesso para o design para desmontagem. Países como China e Alemanha utilizam o termo de EC em suas legislações na tentativa de ter uma produção mais limpa sob diferentes temáticas, sendo elas relacionadas ao ecodesign, reciclagem e redução de resíduos.

A reciclagem e uso de energia são mais comumente retratados nas estatísticas estatais (KORHONEN, 2018) do que o reuso, o que dificulta a implementação das atividades de EC a partir de instrumentos políticos. Países como China e Alemanha utilizam o termo de EC em suas legislações na tentativa de ter uma produção mais limpa sob diferentes temáticas, sendo elas relacionadas ao ecodesign, reciclagem e redução de resíduos (ADAMS, 2017). Essa temática é força motriz quando se trata do setor construção civil, já que a prática e a legislação andam atreladas, devido a exigências quanto a aprovações e planejamento de obras junto a órgãos públicos competentes.

3.2 ENERGIA E RECURSOS NATURAIS

É notório o papel da construção civil para a geração de riqueza e trabalho, desenvolvimento do ambiente construído (ABARCA-GUERRERO *et. al*, 2017) ao mesmo tempo que seu impacto ambiental negativo também acontece em larga escala devido ao alto consumo de recursos naturais e geração de resíduos poluidores. Em 2009 nos EUA, as edificações eram responsáveis por 40% do consumo da energia primária no país (BEETGE *et. al*, 2017). Em meio a temática de gestão de energia e

recursos na indústria da arquitetura e engenharia, emerge o conceito de *Green Building* (ou edifício verde), que tem sido implementado em diferentes países para atender objetivos do desenvolvimento sustentável de maneira a reduzir pegada hídrica e de carbono dos edifícios, bem como reduzir o consumo de recursos. Ao se tratar de edificações sustentáveis como *Green Building*, é necessário se preocupar desde os estágios iniciais de um projeto com integrar a gestão de recursos, o meio ambiente, a manutenção e materiais recicláveis (SAROOP *et. al*, 2016). Essas tipologias de edificações têm se mostrado eficientes na mitigação de mudanças climáticas, redução de resíduos de construção, melhoria da saúde humana, a conservação de recursos e consequentemente a proteção da biodiversidade (WUNI, 2019).

3.3 BIM E INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

Os softwares BIM são ferramentas multifuncionais que permitem a gestão da construção de forma integrada. Esse é um dos principais motivos de ser parte de uma grande quantidade de artigos, ao se tratar de um recurso prático para gerenciar a modularização e a desconstrução de edificações. Em contrapartida aos desafios levantados ao longo das décadas de modernização no mercado da construção civil, a partir da revolução tecnológica e digital, muitas novas ferramentas surgiram ao longo dos anos de modelagem 2D, 3D e contribuíram e ainda contribuem muito com o setor da construção civil de muitas formas. O uso de softwares “Building Information Modeling” (BIM) irrompeu no mercado como um novo divisor de águas, trouxe importantes avanços para o setor da construção civil, unificou em uma só plataforma gráficos 2D, 3D e diferentes projetos e componentes.

O BIM é um processo que fornece, integra e gerencia informações de um projeto ou edificação ao longo do ciclo de vida, ao correlacionar com custos, entre outros fatores que influenciam o planejamento, design, a execução e a possível desconstrução (GE *et al.*, 2017). Esse conjunto de dados inter-relacionados auxiliam nas decisões de gerenciamento de diferentes interessados e necessidades. A partir deles, é possível otimizar o tempo e o detalhamento de projeto, além de compatibilização de projetos desde uma fase embrionária do objeto arquitetônico. Essa abordagem de componentes modulares padronizados já é possível devido a novas tecnologias

automatizadas de baixo custo tanto em tecnologias de design, como BIM, quanto tecnologias de produção, como máquinas de corte e impressoras 3D (ISAAC *et. al*, 2016). Essas são algumas das várias ferramentas que facilitam a modularização na arquitetura e viabilizam a reduzir o retrabalho e a geração de resíduos, por conseguinte. Além disso, a modelagem virtual permite a personalização de componentes da construção e a sua produção em fábrica (ÅGREN *et. al*, 2014). Atualmente, as práticas ainda mais recorrentes do uso de BIM são na construção de novos edifícios (VOLK *et al.*, 2014). A manutenção, reforma e desconstrução de edifícios existentes com o BIM são estratégias ainda menos exploradas, ainda que ele forneça informações valiosas para identificar e quantificar materiais de forma precisa e dividi-los entre reutilizáveis, recicláveis, resíduos e materiais perigosos (GE *et al.*, 2017).

3.4 IMPLEMENTAÇÃO DA EC

Essa classe está entrelaçada com a anterior, já que muitas vezes o desenvolvimento de ferramentas para implementação da EC envolve BIM a partir de abordagens teóricas, estratégias e casos práticos da EC. A classe trata ainda de aspectos teóricos da aplicação da avaliação do ciclo de vida na indústria da construção e seus materiais e suas possibilidades de aplicação.

Ao analisar a bibliografia que relaciona os temas, nota-se que grande parte dos autores aponta as necessidades emergentes juntamente com vantagens econômicas (DELFANI *et. al*, 2016; SALAMA *et. al*, 2017; MICHELI *et. al*, 2019; EBERHARDT *et. al*, 2019; AIDONIS *et. al*, 2019; ADAMS *et. al*, 2017; JOACHIM *et. al*, 2015) como os agentes propulsores da EC e arquitetura modular no setor. A disponibilidade e as restrições locais muitas vezes também são antecedentes aos projetos modulares (CRETU *et. al*, 2019; BEETGE *et. al*, 2017; AKANBI *et. al*, 2019; ELIAS-OSKAN *et. al*, 2014; SHARAFI *et. al*, 2018) (

Figura 15). Quando tomadores de decisão optam por um método construtivo modular, eles objetivam alcançar também custo-benefício, flexibilidade, bem como vantagens em relação ao meio ambiente, tempo de execução e qualidade (SALAMA *et. al*, 2017; MINUNNO *et. al*, 2018; ZAIRUL *et. al*, 2018).

Figura 15 - Antecedentes e consequências da EC na arquitetura.



Fonte: Autora (2021).

Ou seja, ainda com ferramentas que capacitam a otimização de projetos e sua execução, estudos que comprovem benefícios reais como flexibilidade, redução de tempo, qualidade e vantagens ambientais, o mercado ainda temeroso, parece continuar a fazer o caminho inverso e somente agir quando pressionado pela necessidade. Alguns estudos apontam a urgência em políticas públicas mais eficazes (ZAMAN *et. al*, 2018) na redução da geração de resíduos para que haja real esforço privado no reaproveitamento de materiais e recursos já empregados para que eles se mantenham no ciclo de vida por maior período. Embora a EC enfatize os processos e o ciclo de materiais o que contribui para modelos de negócios mais sustentáveis, também encapsula tensões e limitações (MURRAY *et. al*, 2017). Este trabalho pretende explorar a modularização como estratégia de gestão diante de enfrentamentos como alta demanda e escassez cada vez maior de recursos. Para tanto, estabelecer diretrizes para desenvolvimento de projetos modulares e diretrizes para análise de potencial destrutivo de edificações existentes, baseadas na bibliografia.

3.5 METODOLOGIA DE PROJETO MODULAR

O conceito de design para desmontagem é um objetivo já corriqueiro no ambiente industrial e da manufatura, entretanto ainda é uma abordagem relativamente nova na arquitetura (HOSEY *et. al*, 2015) em parte devido à natureza mais personalizada dos projetos arquitetônicos (CROWTHER *et. al*, 2018). As pesquisas dessa classe de palavras conduzem alguns estudos de caso arquitetônicos, observando os padrões recorrentes de design para facilitar a desmontagem e reutilização.

4. DIRETRIZES PARA PROJETOS MODULARES

A modularização da arquitetura não é um tema inédito, seus conceitos são conhecidos desde a obra vitruviana e seus princípios formais ao estabelecer geometria proporcional dividida em membros (ou módulos) (MANENTI *et. al*, 2010). Os conceitos modulares estavam presentes no cenário alemão pós-guerra pela situação emergencial exigir agilidade, contudo, apresentaram problemas de qualidade e execução.

Altas demandas, em situações emergenciais ou não, limitações em relação ao tempo acabam culminando em falta de planejamento. O planejamento e gestão inadequados geram retrabalho, desperdícios e consequentemente custos mais elevados (DA SILVA *et. al*, 2019). A arquitetura modular, por conferir rápida execução e flexibilidade, permite melhor gerenciamento de situações de altas demandas. É esperado um crescimento da pré-fabricação e modularização no setor da construção civil devido aos avanços tecnológicos dos sistemas de modelagem BIM (*Building Information Modeling*) e de tecnologia de informação e automação (O'CONNOR *et al.*, 2016). Embora ferramentas tecnológicas estejam presentes há algumas décadas, no Brasil, observa-se crescimento tímido em relação à industrialização na arquitetura.

A modularização fornece estratégias ordenadas a partir das quais são possíveis inúmeras variações para os arquitetos. A flexibilização e a capacidade de reuso na arquitetura torna-se vantajosa sobretudo em casos de necessidades emergentes temporárias. Descartar essas estruturas ou tornar sem utilidade representam ônus tanto financeiro quanto ambiental. Edifícios e estruturas estão sempre em transição, acompanhando mudanças de costumes e hábitos de cada época e de cada sociedade. Uma arquitetura que atenda a ciclicidade da EC, deve incorporar o princípio de transformabilidade. A arquitetura modular e seu reuso para ser viável, deve atender os quesitos de habitabilidade, sustentabilidade e acessibilidade (KIM *et. al*, 2019) de outra maneira não se justifica.

A estrutura modular ao mesmo tempo que é composta por unidades independentes, também deve integrar um conjunto para desempenhar uma forma e função, onde normalmente pode se flexibilizar e variar de acordo com a necessidade dos usuários. Na arquitetura modular, os componentes devem possuir um design que permitam

variações sem exigir ajustes dos outros componentes (NUSHI *et. al*, 2017). Embora as tecnologias digitais tenham permitido muitos avanços na industrialização da construção, pensa-se pouco em poupar recursos ao antever as necessidades com planejamento e gestão do espaço construído. O mau planejamento e gestão gera várias implicações, tanto ambientais quanto econômicas.

Há um consenso científico, no entanto, sobre a existência de três diferentes níveis de implementação da EC: nível micro, nível meso e nível macro (KORHONEN *et al.*, 2018) onde o nível macro diz respeito a implementação da EC na sociedade como um todo, a nível global. Para tanto, políticas públicas e legislações concernentes são instrumentos, ou seja, leis ambientais que quando ineficazes geram desinteresse individual e organizacional pela sustentabilidade. Além disso, conceitos como simbiose urbana, eco cidades, modelos de consumo colaborativo, gestão de resíduos inovadores e programas de desperdício zero, entre outros, são considerados como parte desse nível de implementação (GHISELLINI *et al.*, 2016). A precariedade e a falta de incentivos para impulsionar a construção sustentável continuam sendo uma fonte de preocupação para os desenvolvedores. Para o projeto modular funcionar deve haver o envolvimento da população, profissionais e governo e ele precisa ser compreendido e apoiado pelas autoridades municipais/estaduais, já que a arquitetura modular deve ser decisão estratégica, não apenas técnica, porque decide as opções futuras da cidade (NUSHI *et. al*, 2017).

Com base nos resultados da pesquisa é possível listar um conjunto de diretrizes para projetos modulares (Figura 16) em suas diferentes fases, para orientar pesquisadores e profissionais da área de construção civil sobre o que é relevante considerar. A fim de suprir os tomadores de decisão, uma vez que já foi evidenciado na literatura que a carência de informações impede o uso de sistemas construtivos alternativos (JOACHIM *et. al*, 2015).

Apesar do processo de modularização já existir há algum tempo e oferecer benefícios em termos de qualidade, rapidez de execução e desempenho ambiental, estudos evidenciaram um crescimento bastante modesto no último século mesmo diante da revolução tecnológica. Alguns fatores como custos iniciais e de transporte mais altos, a necessidade de um grande diálogo multidisciplinar, rigidez em relação a

modificações após a etapa de projeto concluída, logística complexa e mão-de-obra pouco qualificada (O'CONNOR *et al.*, 2016) são apontados como os principais impeditivos para maior existência de projetos e construções modulares. Uma das principais barreiras para a popularização de sistemas construtivos mais sustentáveis encontra-se justamente no cliente por falta de conhecimento sobre os benefícios e resistência a mudanças (JOACHIM *et. al*, 2015). Além disso, a ampliação do conhecimento dos pesquisadores e dos profissionais que desenvolvem e utilizam as tecnologias e práticas das construções modulares é importante para atender as necessidades ambientais.

Figura 16 - Diretrizes para projetos modulares

PROJETO	Planejamento da quantidade e qualidade dos materiais, a geração de resíduos e seu possível tratamento, as técnicas de construção, os recursos humanos e as máquinas necessárias (ABARCA-GUERRERO, 2017). Uso e dimensionamento de materiais leves que facilitem manuseio e transporte (CROWTHER, 2018) Uso de materiais duráveis e de qualidade, que sejam acessíveis e permitam a montagem e desmontagem (ZAMAN, 2018) Sistema modular compatível com padrões existentes Redução de variedade e número de componentes (CROWTHER, 2018). Projeto usando um sistema aberto que permita alternativas estruturais (BRANCART, 2017). Coordenar módulos com sistemas construtivos modulares (ABARCA-GUERRERO, 2017) Usar estruturas, unidades e produtos pré-fabricados (ABARCA-GUERRERO, 2017) Utilizar materiais, produtos e dimensões disponíveis no mercado, bem como dos processos de redução de resíduos (ABARCA-GUERRERO, 2017). Considerar a reutilização, a reciclagem e a desconstrução durante o projeto (ABARCA-GUERRERO, 2017; KORNHONEN, 2018). Conscientizar clientes sobre materiais ecológicos, elementos resistentes e não tóxicos, o impacto da geração de resíduos e os benefícios de reduzi-los e a economia de dinheiro (ABARCA-GUERRERO, 2017). Adaptabilidade à forma da superfície: Definido como a possibilidade do sistema se adequar a condições físicas mais elaboradas (DE LIMA JUNIOR <i>et al.</i>, 2017). Projetar considerando a logística e recursos disponíveis (HÜBNER, 2017, VOLK <i>et al.</i>, 2018) Acabamentos e isolamento térmico compatíveis com as condições climáticas Considerar conforto térmico, acústico e lumínico nas decisões projetuais Dimensões e sombreamento das aberturas para conforto térmico (KREBS <i>et. al</i>, 2015)
EXECUÇÃO	Projetos que usem módulos que possam ser montados de maneira intuitiva (BRANCART, 2017). Identificação e instrução de montagem (CROWTHER, 2018) Coordenar entre os diferentes profissionais, técnicos e clientes envolvidos no projeto. Acompanhamento durante a construção sob as instruções dos engenheiros projetistas, engenheiros estruturais, elétricos e topógrafos (ABARCA-GUERRERO, 2017) Flexibilidade: a capacidade de o material ser instalado e desinstalado com rapidez e facilidade (DE LIMA JUNIOR <i>et al.</i>, 2017)
PROJETO E EXECUÇÃO	Soluções de baixa tecnologia e ferramentas e práticas padrão (CROWTHER, 2018). Uso de conexões mecânicas e não químicas (BRANCART, 2017). Prever elementos transportáveis e resistentes, além de conexões reversíveis (DENIS, 2018) Parafusagem ao invés de pregos e colas; Especificação de materiais reutilizáveis (HÜBNER, 2017, VOLK <i>et al.</i>, 2018) Observação da orientação solar e fatores bioclimáticos do local de implantação
MANUTENÇÃO	Estrutura e revestimento independentes a fim de permitir reformas e alterações no envoltório do edifício (JAKUPI, 2017).
DESMONTAGEM	Acessibilidade a todas as áreas do edifício para permitir a desmontagem (ZAMAN, 2018). Hierarquização de componentes por expectativa de vida (ZAMAN, 2018). Uso de acabamentos que não interfiram na desmontagem (HÜBNER, 2017, VOLK <i>et al.</i>, 2018) Desmontagem paralela ao invés de sequencial, além de permitir a desmontagem em todos os níveis, de materiais a edifícios inteiros (CROWTHER, 2018)

Fonte: Autora (2021).

Ao se tratar da reutilização de materiais e componentes da construção, Crowther *et. al.*, (2018) aponta como principais impeditivos: fatores sociais e ambientais, econômicos, materiais, fatores das partes interessadas e regionais. Já de acordo com Zaman (2018), para possibilitar a desconstrução e o reuso, é necessário catalogar os materiais em relação a sua durabilidade e qualidade de seus componentes ao final de sua vida útil, bem como é importante prever a acessibilidade dos materiais e a

visibilidade de juntas para permitir a desmontagem. Projetos como *Whole House Reuse* que surgiu após terremotos em 2010 na Nova Zelândia, são um caso de necessidade emergencial de novas habitações em detrimento das habitações condenadas por fatores exógenos. Um dos desafios apontados para o reuso e a modularização saírem do cunho teórico para a prática comum é o custo elevado de mão-de-obra especializada. Nesse projeto, o envolvimento social da comunidade local reduziu o custo da mão-de-obra (ZAMAN, 2018).

Outros estudos preveem que a existência de conexões reversíveis reduz o tempo - outro fator limitante por elevar custo em projetos modulares e desconstruções - pois diminuem a intervenção especializada (BRANCART, 2017). Construções e módulos projetados para serem montados de maneira intuitiva aumentam a participação do usuário para moldar e reconfigurar o ambiente construído, isso reduz novamente o custo de mão-de-obra.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo teve como objetivo identificar diretrizes para métodos projetuais sustentáveis, com destaque para a arquitetura modular. Os procedimentos metodológicos adotados possibilitaram a compreensão dos desafios impostos aos profissionais da construção civil para fazer a implantação da arquitetura modular, visto que se trata de uma disrupção no modelo construtivo tradicional, com enfoque substancial na fase de projeto.

Evidenciou-se que a academia discute o tema por meio de cinco grandes classes identificadas na análise de conteúdo: políticas públicas para implantação de modelos sustentáveis e gestão de resíduos; b) consumo energético e recursos naturais; c) inovações tecnológicas, com destaque para o BIM; d) características para implantação da EC; e) as metodologias para projetos modulares.

Identificaram-se as principais diretrizes para projetos modulares que foram classificadas conforme a fase em que o profissional esteja atuando: projeto, execução, manutenção e desmontagem. A fase de projeto foi a que mais possui diretrizes, o que indica que o planejamento da construção é prioritário neste método projetual. A arquitetura modular é uma estratégia de gestão em situações de altas demandas emergentes e para evitar demolições de edificações ao permitir a desmontagem total ou parcial e o reuso. Ela confere agilidade na execução e sua capacidade de desmontagem confere às estruturas flexibilidade de uso em relação ao objetivo empregado a determinada construção.

No entanto, a arquitetura modular sob a ótica da EC ainda é pouco difundida e é necessário um estudo empírico para validações em situações reais. Por este motivo, a popularização de dados e pesquisas a respeito do tema entre usuários e profissionais de diferentes áreas e o trabalho multidisciplinar envolvendo os projetos modulares se fazem essenciais para o crescimento do uso do método projetual/construtivo.

Capítulo 3 – Validação de diretrizes por especialistas e estudo de caso

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, o homem aumentou produção e consumo proporcionalmente ao movimento migratório para cidades. O consumo desenfreado de recursos naturais é alarmante nos diversos setores que compõem a sociedade, sobretudo na construção civil. A indústria da construção tem alto consumo de energia, o que resulta no esgotamento dos recursos naturais, uso do solo, degradação do ecossistema, poluição atmosférica e muitos outros impactos ambientais. Portanto, na construção moderna, ao mesmo tempo em que mantém um ambiente interior satisfatório e confortável, menos consumo de energia e menos uso de recursos são os principais objetivos do projeto de construção. (SALEEM *et. al*, 2018)

Em oposição a esse sistema de consumo, a Economia Circular (EC) procura manter um produto em seu ciclo de uso o máximo possível e não em aplicações de menor valor. Devido ao crescimento demográfico e consumo desenfreado, é esperado que a pressão sobre os recursos do planeta e consequentemente os fundamentos da EC afetem os diferentes setores de atividades, incluindo o setor da construção.

Outro enfrentamento é que a prática mais comum no setor é de um modelo de produção e consumo linear, ou seja, ao final de sua vida útil, os edifícios são frequentemente demolidos e descartados. Estratégias que seguem o modelo de EC têm atraído atenção, sobretudo a reciclagem, que ganhou popularidade. Entretanto, a reutilização direta é mais desejável, já que requer uso mínimo de energia se comparada a reciclagem (AKANBI *et. al*, 2018).

A argumentação a respeito do ciclo dos materiais como redutor de impactos ambientais é oportunidade de negócio e existe desde o início da industrialização (KORHONEN *et al.*, 2018) apesar da hegemonia do modelo econômico linear, o qual transpassa a capacidade do meio de repor os recursos empregados e de gerenciar os resíduos. A EC envolve a redução, recuperação, reuso e reciclagem de insumos e recursos naturais integrantes em um processo de produção (JONES *et. al*, 2017), contrastando com a economia linear (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**)

que leva a geração de resíduos, poluição e degradação ambiental. Apesar de inúmeros conceitos, de forma simplificada, a EC equilibra o desenvolvimento econômico com os recursos naturais.

O *design* e projeto são essenciais, pois se um produto é mais eficiente, sua vida útil é prolongada. Potting et al. (2017) classifica em 9R a circularidade de produto ou material, é possível observar na Tabela 5 do R9 ao R0, quanto menor o número, maior a circularidade, isto é, maior tempo o produto é utilizado sem perder valor. É por meio desses ciclos fechados de produção que este sistema procura otimizar o uso de recursos, para alcançar harmonia entre a economia, ambiente e sociedade (KIRCHHERR, 2017).

Tabela 5 – 9R

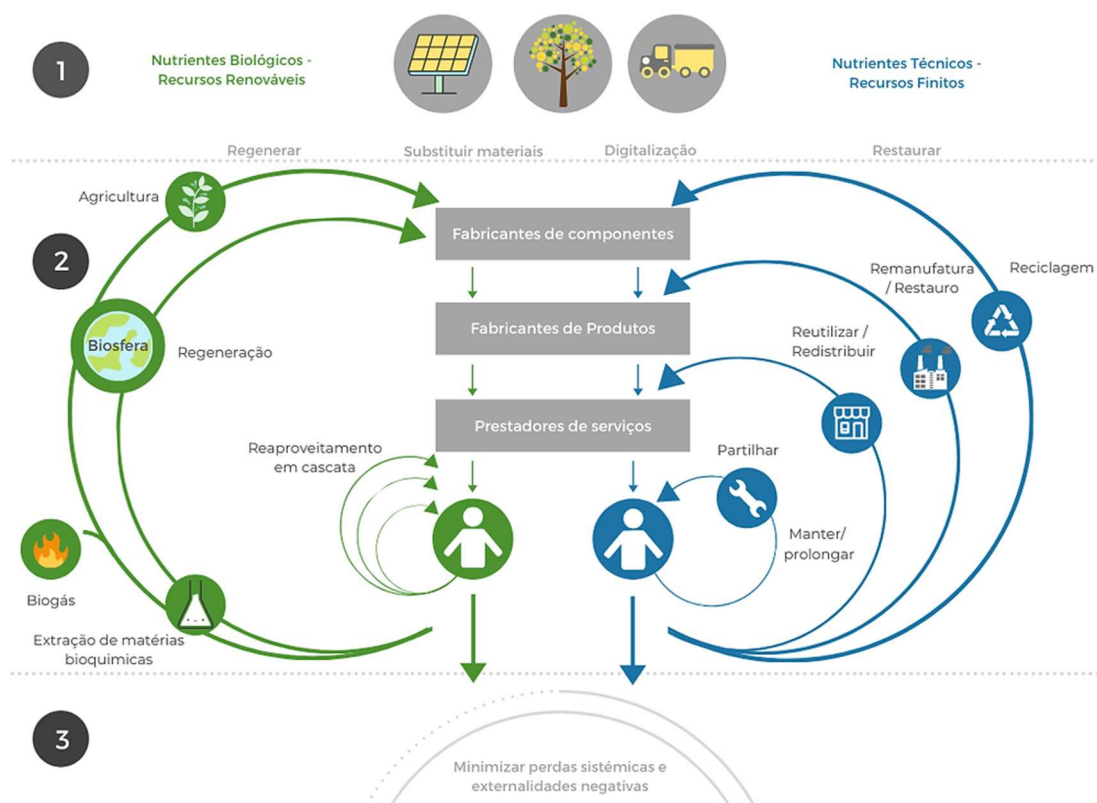
	Produto Inteligente uso e manufatura	R0 Recusar	Tornar um produto obsoleto abandonando sua função ou oferecendo a mesma função com um produto completamente diferente
		R1 Repensar	Tornar o uso de um produto mais intensivo
		R2 Reduzir	Acrescentar eficiência no uso ou fabricação de um produto através da diminuição do consumo de materiais e recursos naturais
	Estender a vida útil de um produto ou parte dele	R3 Reutilizar	Reutilizar um produto descartado por outro consumidor que permanece em uma boa condição e cumpre sua função original
		R4 Reparar	Reparar e dar manutenção em um produto defeituoso para que possa ser usado em sua função original
		R5 Restaurar	Restaurar um produto antigo e tornar ele atual
		R6 Remanufaturar	Usar partes de um produto descartado em um novo produto com a mesma função
		R7 Reaproveitar	Usar um produto descartado ou parte dele em um novo produto com uma função diferente
	Aplicações úteis de materiais	R8 Reciclar	Processar materiais para obter a mesma qualidade ou inferior
		R9 Recuperar	Incineração de material apenas com recuperação de energia

Fonte: Adaptado pela autora a partir de Potting *et al.* (2017, p.5) (2021)

Essa tabela também pode ser interpretada a partir do diagrama de borboleta (Figura 17), onde ficam esquematizados os ciclos. É possível observar de forma concisa que, por exemplo, a reciclagem seria menos circular do que o reuso, já que a reciclagem demandaria maior uso de energia ao devolver o produto para os fabricantes e assim

produzir algo similar ou de valor inferior, enquanto o reuso mantém o produto na cadeia.

Figura 17 – Diagrama de borboleta

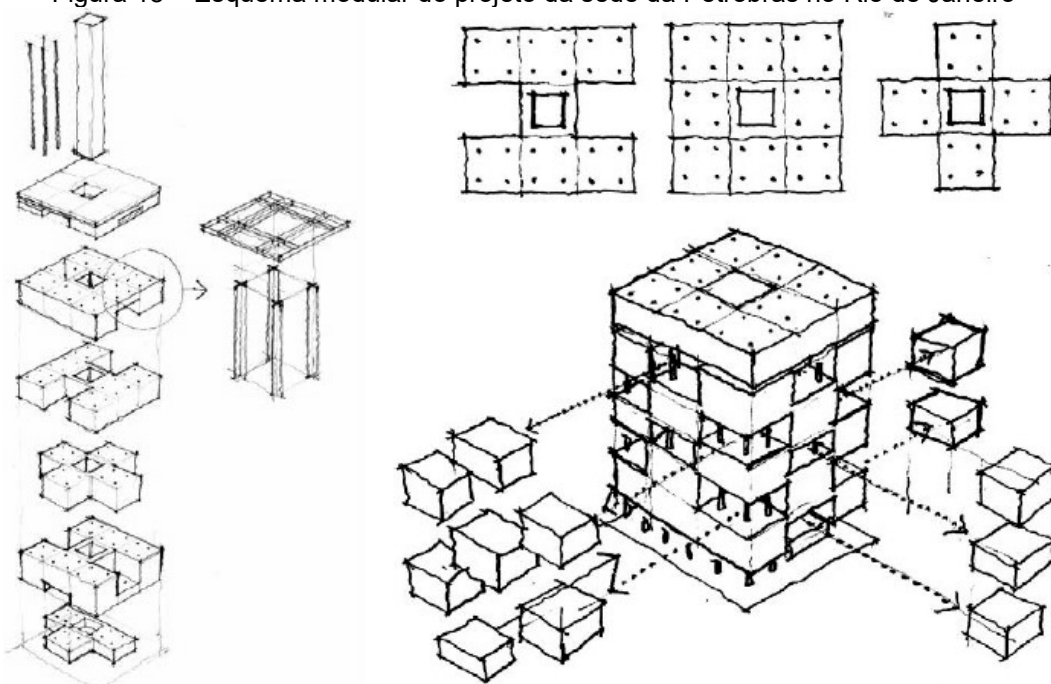


Fonte: "Growth within" (2015), Ellen MacArthur Foundation and McKinsey Center for Business and Environment.

A arquitetura modular permite a composição de edificações a partir da repetição e flexibilidade nas composições de módulos. Tal arquitetura é um modelo de construção que envolve tecnologia e pré-fabricação na composição por meio de módulos envolvendo conceitos de eficiência, rapidez, flexibilidade e sustentabilidade.

O termo módulo está intrinsecamente ligado a unidades de medida e sua repetição. Módulos são unidades estruturalmente independentes, umas das outras, mas que podem formar um todo a partir de uma composição. A arquitetura modular permite a independência de estrutura e integração de função, ao mesmo tempo que é capaz de fornecer espaços flexíveis e personalizáveis para os usuários (NUSHI et. al, 2017).

Figura 18 – Esquema modular do projeto da sede da Petrobrás no Rio de Janeiro



Fonte: PACHECO, 2010, p. 251

O conceito de EC abrange todas as etapas do ciclo de vida do produto, desde o *design* do produto e o processo de produção, passando pelo *marketing* e consumo até o gerenciamento de resíduos, reciclagem e reutilização. De acordo com a literatura, é possível dividir o ciclo de vida de uma edificação em cinco fases/eixos (ZANNI *et. al*, 2018; ADAMS *et. al*, 2017) para inserção da EC: projeto, materiais, construção, manutenção e disposição final.

Nesse caso, ao analisar a edificação em seu ciclo de vida, se opta pela desmontagem e reuso ao invés de da reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição (RCD).

Em um primeiro momento de desenvolvimento do objeto arquitetônico, ou seja, na etapa de projeto, deve-se priorizar soluções sustentáveis, construções modulares com a possibilidade de desconstrução, além de uma escolha criteriosa de materiais que favoreçam esse objetivo.

A prática mais comum se encontra na reciclagem e reaproveitamento de materiais. Entretanto, a literatura aponta encalços associados à reciclagem. Um dos principais problemas é uma perda de qualidade em comparação a aplicação anterior à reciclagem para a qual os componentes originais foram fabricados (AKBARNEZHAD

et al., 2014). Deduz-se que a desmontagem e a desconstrução devem ser priorizadas em relação à reciclagem.

Ao se tratar da fase de execução, o gerenciamento e o planejamento de uma construção são importantes para uma obra limpa e inteligente, isto é, evitando o retrabalho, minimização de resíduos e de impacto ambiental. Entretanto, essa fase tem dependência das anteriores, logo, uma adequada execução depende de um bom projeto e escolhas inteligentes de materiais sustentáveis e de baixo valor agregado.

Após concluídas, as edificações demandam manutenções e gerenciamento de instalações. Embora os edifícios tenham vida útil relativamente longa, também sofrem mudanças ao longo de seu ciclo de vida e evoluem por meio de reformas, demolições ou desconstruções. (DENIS *et. al*, 2017) Uma edificação onde a modularização e a desconstrução foram pensadas em projeto tem taxa maior de adaptabilidade a novos usos. As escolhas das etapas anteriores determinam se uma edificação terá manutenções mínimas.

Ficaram evidenciados muitos estudos a respeito de *retrofit* para modernização de prédios não tão eficientes, onde as estratégias buscam melhorar o conforto ambiental e atingem maior eficiência energética. São práticas comuns nesse tipo de estudo: isolamento térmico em paredes, substituição de esquadrias e do envoltório da edificação, uso de telhado verde, substituição de luzes e fontes de energia (PYLOUDI, *et. al*, 2015). Em uma última etapa, encontra-se a disposição final: a desconstrução *versus* demolição.

Pesquisas no sentido do reuso de edificações e módulos são importantes para a EC e desenvolvimento sustentável. Além do mais, para validar um sistema construtivo, é necessário avaliá-lo sobre aspectos técnicos, ambientais e econômicos para justificar a escolha de um método construtivo em detrimento de outro. Geralmente, nesses tipos de projetos, o nível de modularização é impulsionado principalmente por restrições do local, como acessibilidade e condições climáticas adversas. Para adoção de um nível adequado de modularização, o uso de ferramentas simples fornece assistência prática aos tomadores de decisão para esses projetos (SHARAFI *et. al*, 2018).

Ainda, ao se tratar de uma edificação no fim do ciclo de vida, o primeiro passo para analisar seu potencial de desconstrução é realizar coleta de todos os documentos

disponíveis e o levantamento dos materiais utilizados e eventuais modificações do edifício (KLEEMANN *et al.*, 2016). Nesse levantamento inicial, é importante se atentar para construções que contêm materiais perigosos como amianto, utilizado até a década de 1990 (GE *et al.*, 2017).

Um dos principais desafios para a desconstrução se dá nessa etapa de levantamento de dados da construção, pois muitas vezes reformas e ampliações não estão documentadas (HÜBNER *et al.*, 2017) o que traz incertezas para a desconstrução e a tornam tão complexa quanto a construção. Para tanto, a documentação deve ser incorporada a levantamentos e medições *in loco*.

De acordo com a literatura, existem *softwares* complementares ao BIM na tarefa de levantamento de materiais não documentados que estimam densidade e volume de materiais empregados. Além disso, outras informações relevantes como o peso das instalações, podem ser obtidas por amostragem ou tomando por base normas de projeto e a literatura sobre métodos de construção empregados na edificação em enfoque (KLEEMANN *et al.*, 2016). Todos dados ao longo do ciclo de vida de uma edificação e seu projeto como planejamento, design, construção, operação de uma instalação de construção e desconstrução pode ser integrado e gerenciado pelo BIM (GE *et. al*, 2017).

Alcançar os métodos de projeto e de desconstrução mais sustentáveis dependem da avaliação de inúmeros fatores e seus efeitos. Após revisão bibliográfica e análise de conteúdo por meio da bibliometria e cienciometria foram geradas diretrizes teóricas para desenvolvimento de projetos modulares.

Esse trabalho realizou a validação de construto verificando a aceitação das diretrizes pelos profissionais do mercado e a validação prática verificando projetos modulares já executados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O trabalho científico começa pela pesquisa bibliográfica (ARIA, 2017). Por meio do processo de análise bibliométrica e estudo teórico, é possível elencar meios para intervenções práticas. O capítulo 2 apresenta o estudo cienciométrico sobre o tema e o último a análise de conteúdo para identificação das diretrizes teóricas para projetos modulares. No capítulo 3 são descritos os procedimentos de coleta do referencial teórico e as análises realizadas.

2.1 EXPERIÊNCIAS BEM-SUCEDIDAS COM PROJETOS MODULARES

Em um panorama geral ao longo da existência da humanidade, o setor da construção bem como os outros setores, seguem padrão predominantemente linear de produção e consumo. Isso tem custado graves consequências ambientais a longo prazo. Entretanto, fica evidente em estudos que o projeto modular exige mais tempo e atenção redobrada em etapas de planejamento e projeto, contudo, se mostra extremamente vantajoso econômica e ambientalmente em vários quesitos.

É evidente que, como o próprio nome sugere, para situações emergenciais como o surgimento da COVID – 19, o sistema de saúde, os gestores e a população nunca estão preparados completamente. Entretanto, nessas situações, a arquitetura modular tem se mostrado vantajosa há algumas décadas. Frente a um sistema de saúde sobrecarregado, a cidade de Wuhan, na China, epicentro da pandemia do coronavírus, construiu um hospital em apenas 10 dias. O mesmo ocorreu com a SARS em 2003, a China também executou construções de novos hospitais modulares em curtos períodos (HARROUK *et. al*, 2020).

O complexo do Hospital Huoshenshan e do Hospital Leishenshan (Figura 19), construído em 2020, localizado no distrito de Jiangxia (China), são exemplos de construção em situação emergencial que exige agilidade e eficácia, além da China demonstrar experiência ao empregar com frequência esse tipo de sistema construtivo. De acordo com Luo *et. al* (2020) os dados foram coletados por relatórios públicos, documentos dos projetistas e profissionais envolvidos que continham as principais características do projeto.

Figura 19 - Construção complexo Hospital Leishenshahan



Fonte: Archdaily, 2021

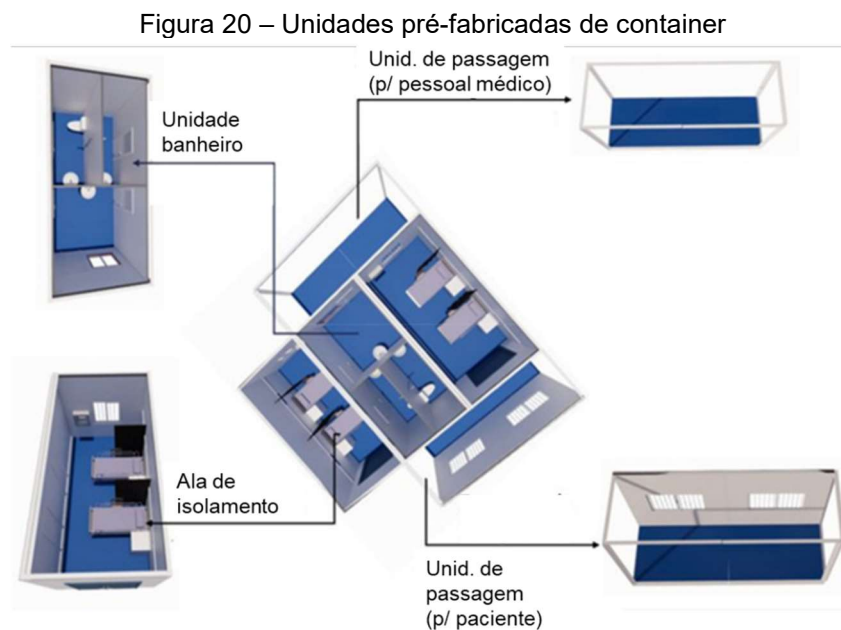
O Hospital Leishenshan é composto por dez edifícios, por mais de três mil unidades pré-fabricadas do tipo *container*; cada unidade tem suas próprias funções com um tamanho padrão de 6,00 m × 3,00 m × 2,60 m ou 6,00 m × 2,00 m × 2,60 m (O complexo do Hospital Huoshenshan e do Hospital Leishenshan (Figura 19), construído em 2020, localizado no distrito de Jiangxia (China), são exemplos de construção em situação emergencial que exige agilidade e eficácia, além da China demonstrar experiência ao empregar com frequência esse tipo de sistema construtivo. De acordo com Luo *et. al* (2020) os dados foram coletados por relatórios públicos, documentos dos projetistas e profissionais envolvidos que continham as principais características do projeto.

Figura 19), adotou como estratégia de projeto dividir o hospital em módulos pré-fabricados individuais.

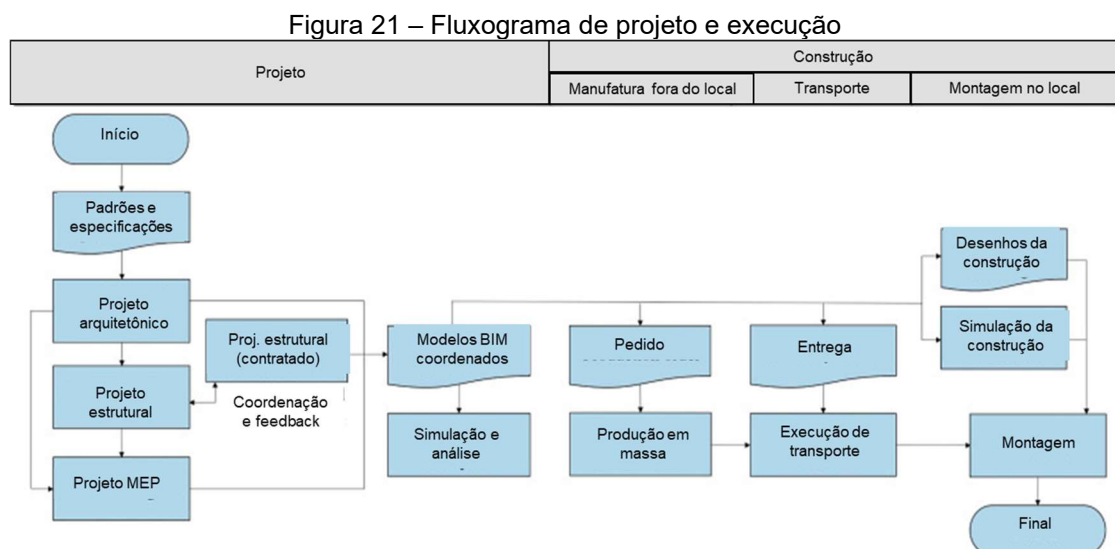
Os módulos, além de se tratar de unidades sendo reutilizadas em uma espécie de *upcycling*, a produção deles como unidades de saúde foi realizada em ambiente fabril e posteriormente transportadas para o canteiro de obras e instaladas no local designado por uma grua móvel. Dessa forma, a produção de componentes in loco foi minimizada, ao empregar tecnologias pré-fabricação que não exigem processos de construção in loco demorados.

O sistema integrado BIM foi utilizado de acordo com Luo *et. al* (2020) para compatibilizar e gerenciar os projetos e serviços envolvidos (Figura 20). Além disso,

houve otimização do plano de construção e gerenciamento do canteiro de obras por meio do BIM e ele resolveu problemas de colaboração, como trabalho repetitivo desnecessário e erros e perdas de dados (Figura 21).



Fonte: Luo *et. al* (2020) adaptado pelos Autora (2021).



Fonte: Luo *et. al* (2020) adaptado pela Autora (2021).

Projetos como *Whole House Reuse* (Figura 22), que surgiu após terremotos em 2010 na Nova Zelândia, são casos de necessidade emergencial de novas habitações em detrimento das habitações condenadas por fatores exógenos. Um dos desafios apontados para o reuso e a modularização saírem do cunho teórico para a prática é o custo elevado de mão-de-obra especializada (JOACHIM *et. al*, 2015). No projeto *Whole House Reuse*, especificamente, o envolvimento dos usuários, ou seja, a comunidade local, reduziu significativamente o custo da mão-de-obra (ZAMAN *et. al*, 2018).

Figura 22 - Whole House Reuse



Fonte: Nic Moon, 2017

A modularização é um recurso empregado na indústria há séculos e, vista na indústria automotiva por exemplo, capaz de reduzir custos e tempo. O interesse pela modularização cresceu no meio acadêmico e profissional em diferentes setores. Tal interesse se deve ao fato de se tratar de uma estratégia que confere flexibilidade e aprimoramento aos produtos industrializados, além de aumentar a durabilidade e minimizar desperdícios (MICHELI *et al.*, 2019).

As construções verdes são o futuro do mercado, devido às condições finitas dos recursos empregados ostensivamente até então no setor. São edifícios que implicam no consumo eficiente de energia e recursos, minimizam as operações de construção

e renovação para priorizar o meio ambiente, e dessa forma se adaptam aos princípios da EC (CRETU *et al.*, 2019).

Em um contexto do Brasil, a empresa Brasil ao Cubo, que realiza projetos modulares no país, executou o Hospital M'boi Mirim (Figura 23), localizado na cidade de São Paulo – SP. O hospital foi concluído em 33 dias e possui 100 leitos, ele deve permanecer funcionando mesmo após a pandemia.

Figura 23 - Hospital municipal M'Boi Mirim



Fonte: Tecverde Construções Eficientes, 2020

LEIS, NORMAS E DEMAIS POLÍTICAS PÚBLICAS FORMALIZADAS

No Brasil, apesar da implementação de novas legislações e selos, o setor da construção ainda mantém métodos construtivos convencionais e grandes geradores de resíduos em boa parte dos canteiros de obra. Tal fato é atribuído à concentração de literatura e informações relacionadas a países desenvolvidos e em desenvolvimento, é apontada carência de informações, dados inadequados e imprecisos relacionados à construção, melhores práticas e materiais (ABARCA-GUERRERO *et. al*, 2017), o que também se estende às legislações.

A partir da regulamentação de legislação específica, como a Resolução nº 307 do CONAMA (2002) que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil, ocorreu uma crescente reestruturação de técnicas com a devida preocupação ambiental. A indústria da construção civil busca métodos construtivos sustentáveis, para solucionar a questão dos resíduos, mas que garantam a viabilidade técnica e econômica, sem comprometer aspectos de qualidade e conforto.

Conforme a Lei 12.305 de 12 de agosto de 2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos: “padrões sustentáveis de produção e consumo: produção e consumo de bens e serviços de forma a atender as necessidades das atuais gerações e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das gerações futuras” (BRASIL, 2010).

De acordo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2017), elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2017 foram gerados 47 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Em relação ao ano de 2016, o índice de redução foi pouco significativo, apenas 0,1 % para o ano seguinte.

Além de evoluções pouco discretas em relação a conservação de recursos e redução de impacto ambiental, atualmente, a legislação brasileira e normas em vigor não contemplam orientações específicas para projetos de arquitetura e edificações em sistemas modulares.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Conforme exposto nos procedimentos metodológicos da parte I, após a análise de CHD, produto da parte II deste trabalho, as discussões de cada subgrupo orientaram o levantamento das diretrizes a partir da literatura contida no portfólio, onde foi identificado o que era apontado na literatura como fundamental a construção modular em cada uma das dimensões identificadas.

As dimensões geradas a partir da literatura foram: projeto, execução, projeto e execução, manutenção e desmontagem; cada uma delas deu origem a componentes, ou diretrizes, 36 delas.

Após verificar se as diretrizes são consonantes com a prática e a legislação vigente, as categorias teóricas foram submetidas ao crivo de especialistas na área de arquitetura, engenharia, sustentabilidade, entre outras, com destaque e atuação em projetos desta natureza ou similares, preferencialmente com mais de 5 anos de experiência, preferencialmente.

Um formulário foi encaminhado por meio da plataforma *Google forms*, como ferramenta de medição diretrizes teóricas para projetos modulares. A validade do conteúdo foi realizada por meio de abordagem quantitativa e, sua confiabilidade, pela consistência interna e métodos de teste-reteste. Foi utilizada uma escala Likert e o questionário permitiu que os participantes, além de classificar a pertinência das diretrizes, sugerissem novas diretrizes se julgassem necessário.

As diretrizes finais para projetos modulares serão resultado dessa validação. Essas diretrizes serão aplicadas em um projeto considerado modular executado nos campi do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS), para verificação de compatibilidade e validação prática. Essa análise também utilizou uma escala likert de 1 a 3 e contou com uso de projetos, documentos e imagens do banco de dados do IFMS.

VALIDAÇÃO POR ESPECIALISTAS

A relevância das diretrizes teóricas que emergiram da literatura foi medida pela validação de especialistas multidisciplinares ligados a sustentabilidade e gestão de recursos naturais, como as áreas de arquitetura, engenharia civil e ambiental, por

meio de uma entrevista realizada por um formulário. Este estudo teve como objetivo avaliar por meio de uma ferramenta de medição diretrizes teóricas para projetos modulares a partir de um questionário. A validade do conteúdo foi realizada por meio de abordagem quantitativa e, sua confiabilidade, pela consistência interna e métodos de teste-reteste. Uma lista preliminar de 36 itens foi preparada como ponto de partida.

Modificando itens das diretrizes e desenvolvendo um questionário preliminar para ser submetido a participantes especialistas multidisciplinares ligados a sustentabilidade e recursos naturais convidados a participar. Para determinação de validade de conteúdo, o questionário foi estruturado de forma que permitisse que os participantes explanassem seus julgamentos a respeito das diretrizes e da necessidade de modificá-las. Os entrevistados também puderam sugerir diretrizes que julgassem importantes que porventura não estivessem contempladas nas diretrizes teóricas da entrevista.

A escolha dos especialistas entrevistados foi baseada em titulação, experiência de mais de 5 anos na área preferencialmente. Dos especialistas inicialmente abordados, 16 aceitaram participar da pesquisa. De acordo com o método Lawshe, a validação de conteúdo exige o mínimo de quatro participantes. De acordo com Lawshe (2011), a Taxa de Validade de Conteúdo (CVR) deve ser superior aos valores de referência da Tabela 6 para que um item seja considerado como aceitável pelo método de análise escolhido. O CVR é um indicador de consenso entre os especialistas e é medido pela fórmula da Equação 1 que é uma transformação linear do número de especialistas que concordaram com a inclusão do item como uma diretriz para projetos modulares.

$$CVR = \frac{n_e - n/2}{n/2} \quad (1)$$

Onde:

n_e é o número de especialistas que considerarem o item de avaliação essencial;

$n/2$ é o número de especialistas dividido por 2.

Com esse cálculo, o valor do CVR será negativo quando menos da metade dos especialistas considerarem o item essencial, e zero quando exatamente a metade considerar essencial.

Tabela 6 - Valores mínimos de CVR para diferentes números de participantes.

Número de participantes	Valor mínimo aceitável de CVR
5	0.99
6	0.99
7	0.99
8	0.75
9	0.78
10	0.62
11	0.59
12	0.56
13	0.54
14	0.51
15	0.49
20	0.42
25	0.37
30	0.33
35	0.31
40	0.29

Fonte: Allahyari(2011) adaptado pelos Autora (2021)..

Para calibrar as respostas e evitar a subjetividade de interpretações foi usada uma escala Likert de 5 pontos (1 = discordo totalmente; 2 = discordo parcialmente; 3 = não faço ideia; 4 = concordo parcialmente; 5 = concordo totalmente). Para fins de cálculo da média de cada item, será feita uma conversão da escala Likert:

- a) Nota likert 4 ou 5, substituído por 2
- b) Nota likert 3 – substituído por 1
- c) Nota likert 1 ou 2, substituído por 0

Para selecionar as diretrizes finais para projetos modulares, os critérios a seguir foram cumpridos (ALLAHYARI, T. *et al.*):

- a) Se o CVR for igual ou superior ao valor mínimo aceitável conforme a Tabela 6, a diretriz será aceita de forma incondicional.
- b) Se o CVR estiver entre 0 e o valor de CVR mínimo tabelado, porém com média dos julgamentos superior a 1,5, a diretriz deve ser aceita, pois valores superiores a 1,5 indica que a média dos julgamentos está mais próxima dos valores superiores de aceitabilidade. Um CVR exatamente de 0 indica que não menos de cinquenta por cento do grupo de especialistas concorda parcial ou totalmente.

- c) Se o CVR for menor que 0 e a média for menor que 1,5, deve-se rejeitar a diretriz, pois não foi considerada essencial por pelo menos metade grupo.

Para que este resultado seja válido, Lawshe (1975) estabelece as seguintes suposições para interpretação do CVR: se houver discordância de todos, a diretriz não é relevante; se houver concordância total, não necessariamente a diretriz é relevante, pois podem estar errados, porém, sendo especialistas, o item pode ser considerado relevante.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após consolidado o quadro, quatro diretrizes foram eliminadas, as outras 32 foram aceitas. Não houve contribuições no sentido de sugerir diretrizes extras. As doze diretrizes que obtiveram aprovação máxima, tratam bastante a respeito de especificação de materiais e estratégias de conforto ambiental. As quatro diretrizes eliminadas abordam questões sobre o processo desmontagem e conexões. As diretrizes estão hierarquizadas na Tabela 7 em ordem decrescente de aprovação por parte dos especialistas. Ao todo, 12 diretrizes obtiveram Média 2, ou seja, foram aprovadas por todos os especialistas consultados.

Tabela 7 – Validação de diretrizes por especialistas

DIRETRIZES	CRV	MÉDIA	RESULTADO
O projeto deve especificar materiais duráveis e de qualidade	1	2	ACEITO
Projeto deve permitir reformas e alterações no envoltório do edifício.	1	2	ACEITO
O projeto deve ordenar os componentes pela expectativa de vida deles para viabilizar manutenção e desmontagem por etapas	1	2	ACEITO
O projeto deve oferecer instruções de montagem/desmontagem.	1	2	ACEITO
Deve haver o gerenciamento e compatibilização de projetos e diferentes serviços envolvidos.	1	2	ACEITO
O projeto deve considerar a reutilização de materiais, componentes ou módulos.	1	2	ACEITO
O projeto deve considerar a reciclagem de materiais, componentes ou módulos.	1	2	ACEITO
O projeto deve planejar a quantidade e a qualidade dos materiais.	1	2	ACEITO
Deve haver o planejamento e gestão da geração de resíduos	1	2	ACEITO
Deve haver o planejamento das técnicas construtivas, dos recursos humanos e das máquinas necessárias.	1	2	ACEITO
O projeto deve considerar as dimensões e sombreamento das aberturas para conforto térmico.	1	2	ACEITO
O projeto deve especificar acabamentos e isolamento térmico compatíveis com as condições climáticas.	1	2	ACEITO
O projeto deve permitir que a estrutura e o revestimento sejam independentes	0,78	1,89	ACEITO
O projeto modular deve ter dimensões compatíveis com padrões existentes de cada material empregado e/ou com as dimensões e produtos disponíveis no mercado	0,78	1,89	ACEITO
O projeto deve prever estruturas, unidades e produtos pré-fabricados, minimizando ao máximo a produção de componentes in loco	0,78	1,89	ACEITO
O projeto deve prever a eliminação ou redução de resíduos.	0,78	1,89	ACEITO
Deve haver o acompanhamento da construção sob as instruções dos engenheiros projetistas, engenheiros estruturais, elétricos e/ou topógrafos	0,78	1,89	ACEITO
Deve haver a conscientização dos clientes sobre materiais ecológicos, elementos resistentes e não tóxicos.	0,78	1,89	ACEITO
Deve haver a conscientização dos clientes sobre o impacto da geração de resíduos e os benefícios de reduzi-los e a economia de dinheiro.	0,78	1,89	ACEITO
O projeto deve utilizar o conceito de flexibilidade: a capacidade de o material ser instalado e desinstalado com rapidez e facilidade	0,78	1,89	ACEITO
Observar a orientação solar e fatores bioclimáticos do local de implantação.	0,78	1,89	ACEITO
O projeto deve ser adaptável às necessidades do usuário.	0,78	1,89	ACEITO
O projeto deve prever o uso e dimensionamento de materiais leves que facilitam manuseio e transporte.	0,56	1,78	ACEITO

DIRETRIZES	CRV	MÉDIA	RESULTADO
O projeto deve ser adaptável à forma da superfície: possibilidade do sistema se adequar a condições físicas mais elaboradas.	0,56	1,78	ACEITO
O projeto deve considerar o conforto térmico, acústico e lumínico nas decisões projetuais.	0,78	1,78	ACEITO
O projeto deve prever o acesso a todas as áreas do edifício quando for preciso desmontá-lo	0,33	1,67	ACEITO
O projeto deve permitir a montagem/desmontagem de componentes/módulos de forma independente.	0,33	1,67	ACEITO
O projeto deve conter um número reduzido em variedade e número de componentes.	0,33	1,67	ACEITO
O projeto deve conter um modelo 3D, detalhado e de fácil compreensão.	0,33	1,67	ACEITO
O projeto deve considerar a avaliação pós-ocupação.	0,33	1,67	ACEITO
O projeto deve utilizar sistema aberto que permita alternativas estruturais.	0,33	1,56	ACEITO
O projeto deve considerar a desconstrução.	0,56	1,56	ACEITO
O projeto deve permitir a capacidade de montagem/desmontagem desde materiais a edifícios inteiros.	0,11	1,44	REPROVADO
O projeto deve empregar soluções de baixa tecnologia e ferramentas com práticas padronizadas.	0,33	1,44	REPROVADO
O projeto deve propor módulos que possam ser montados de maneira intuitiva.	-0,11	1,33	REPROVADO
O projeto modular deve utilizar conexões mecânicas e não químicas	-0,33	1,11	REPROVADO

Fonte: Autora (2021).

5. ESTUDO DE CASO – SALAS MODULARES DO INSTITUTO FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL (IFMS)

A definição um método construtivo por um arquiteto ainda durante o projeto leva em consideração o custo final da obra, mão de obra e recursos locais disponíveis, para que tenham um valor agregado menor. Afinal, isso compreende os conceitos de sustentabilidade e circularidade e o projeto modular não deve estar descolado dessa realidade. Além do mais, investimentos financeiros reduzidos, especialmente em projetos de maior escala onde o modular torna-se prático e econômico (JAKUPI, 2017), desperta interesse no modelo especialmente da iniciativa privada, o mesmo acontece em relação a EC. Eles demonstram aceitação em nível mundial como um método de valorizar recursos naturais empregados, de forma sustentável e que atende às exigências técnicas e legais.

O interesse pode ser atribuído especialmente a redução de custos da obra. De acordo com Occhi *et. al* (2016), substituir o uso de alvenaria convencional por módulos de *containers* pode representar uma redução de 30% no custo final da edificação. Os isolamentos necessários para o conforto no interior de edificações em geral geram um custo a mais na obra (porém, ainda se mantém mais barato do que uma construção de alvenaria convencional), mas, em compensação, esse valor será revertido com a economia de energia gerada, pois com o isolamento térmico bem-feito, não será necessário uso de ar-condicionado ou de climatizadores.

O objeto de estudo escolhido para verificar a aplicação de diretrizes teóricas trata-se das salas modulares utilizadas pelo Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS) nos campi de Campo Grande, Dourados, Ponta Porã, Três Lagoas, Aquidauana e Jardim. As salas modulares utilizadas são de dois tamanhos diferentes, ambas retangulares e com comprimento múltiplo de 2,40m e foram escolhidas para atender as necessidades de cada campus, mas todas contam com corredor externo para servir de passarela de circulação interligando as salas de aula a outros blocos de ensino.

A sala modular é composta por cobertura em estrutura metálica de apoio na cor branca travada com enrijecedores nos cantos para garantir a estabilidade do conjunto, essa estrutura é coberta com telha sanduiche composta por galvalume pré pintado na cor terracota texturizada na parte superior, núcleo isolante em espuma rígida de

poliisocianurato (PIR) com espessura de 40mm e com densidade entre 37 a 42kg/m³ e revestimento inferior em aço galvanizado pré-pintado, plano/frisado, na cor branco.

As paredes e divisórias são constituídas de painel termo isolante com revestimento externo e interno em aço galvanizado pré-pintado na cor branca e núcleo isolante em espuma rígida de poliisocianurato (PIR) retardante de chamas, com espessura de 70 mm e com densidade entre 37 e 42kg/m³. As salas modulares apresentam aberturas para ventilação (janelas) na cor branca com duas folhas de correr com vidros transparentes e portas de giro para acesso. Os Apêndices A e C ilustram, respectivamente, as plantas baixas e os cortes das salas modulares utilizada no campus do IFMS de Aquidauana. As salas modulares contam com sistema elétrico integrado, com previsão de pontos de tomadas e ar-condicionado, cabeamento da parte elétrica, iluminação de acordo com NBR 15215-4-2004. O piso é composto de revestimento cerâmico na cor branca.

O tipo de fundação previsto pelo fabricante era do tipo radier, entretanto, devido as características de solo dos campi foi utilizado outros tipos de fundação como do tipo estaca escavada. Alterações como essas específicas de cada local de implantação de fundação e aterro aumentaram significativamente o custo final de cada sala modular. O Apêndice B contempla a planta de fundações das salas modulares do IFMS. A justificativa para adoção do sistema construtivo de salas modulares por parte do IFMS se deu por ser um projeto que alia sustentabilidade e tecnologia, conceitos presentes na visão da instituição, atendendo as diretrizes 13 e 14.

Os dados foram coletados por relatórios públicos, documentos dos projetistas e profissionais envolvidos que continham as principais características do projeto. O IFMS adotou como estratégia de projeto dividir o bloco de ensino em módulos pré-fabricados individuais, portanto atende a diretriz 30, de permitir a montagem/desmontagem de módulos de forma independente. As medidas do projeto obedeceram às medidas padrões de mercado dos tipos padrões comercializados, conforme diretriz 21 e já vem compatibilizados na concepção da sala modular (diretriz 1).

As salas foram adquiridas para atender a necessidade de cada campus, portanto afirma-se que é um sistema aberto que permite alternativas estruturais (diretriz 32)

para futuras ampliações, adaptáveis as necessidades dos usuários (diretriz 19). A quantidade e qualidade dos materiais utilizados são controlados pois conforme o projeto tipo adquirido é entregue a quantidade necessária para montagem daquele projeto (diretriz 11), reduzindo a geração de resíduos (diretriz 17).

Figura 24 – Painéis montagem sala modular IFMS Campo Grande



Fonte: Banco de dados IFMS

A produção das peças das unidades foi realizada em ambiente fabril por empresa especializada e seus projetistas (diretriz 15) e posteriormente transportadas para o canteiro de obras e onde foram montadas e instaladas no local designado (Figura 25) com rapidez e facilidade (diretriz 20). Dessa forma, a produção de componentes in loco foi minimizada, ao empregar tecnologias pré-fabricação que não exigem processos de construção in loco demorados. Também foi possível prever o maquinário e recursos humanos necessários, conforme a diretriz 18 e 2 respectivamente.

O programa de necessidades é composto por salas de aula e circulações, mais simplificado do que por exemplo o de um hospital. Portanto, não exigiu projetos de requisitos específicos técnicos, apenas projetos de terraplenagem para nivelamento do local, drenagem, fundação, elétrica, lógica e acessibilidade no envoltório da sala (diretriz 12).

De certa forma, a diretriz 16 foi contemplada, já que os sistemas de fundação e drenagem são independentes do restante da edificação, facilitando alterações. Entretanto a fundação por se tratar de estacas e blocos concretados in loco, inviabilizam a desmontagem e reuso. Essa solução de fundação também permite adaptação a diferentes terrenos (diretriz 25), diminuindo a necessidade de movimentações de terra para realizar terraplenagem e fundações profundas.

Figura 25 - Estrutura sala modular IFMS Campo Grande



Fonte: Banco de dados IFMS

O sistema integrado BIM não foi utilizado para compatibilização e gerenciamento dos projetos complementares, uma vez que as salas modulares foram construídas em 2019, época em que o IFMS ainda não havia implantado a utilização do BIM em seus projetos. O Decreto Nº10.306, de 2 de abril de 2020 que estabelece a utilização do *Building Information Modelling* na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, a partir de 1 de janeiro de 2021 em primeira fase. Assim, o modelo 3D detalhado e de fácil compreensão (diretriz 28) não foi atendido.

Apesar de haver hierarquização dos componentes (diretriz 10) não é possível afirmar se foram previstas instruções de montagem e desmontagem (diretriz 9). Os módulos,

apresentam alta durabilidade (diretriz 8), número reduzido de componentes (diretriz 29) e facilidade em relação ao seu transporte devido ao seu peso, atendendo a diretriz 24. Não foram encontradas evidências de que houve uma preocupação em integrar a reciclagem e reuso, além de gerenciar os resíduos gerados (diretrizes 3,4 e 5).

Os beirais generosos, a ventilação cruzada e o piso em cerâmica branco expressam preocupação com o conforto térmico e lumínico necessário para um ambiente escolar. Além disso, tanto os painéis de fechamento quanto as telhas de cobertura são preenchidos com material isolante garantindo conforto térmico, atendendo as diretrizes 6,7 e 23.

Figura 26 - Interior sala modular IFMS Campo Grande



Fonte: Banco de dados IFMS

Foi considerada a orientação solar na definição do local de instalação das salas modulares (diretriz 22) de forma a complementar outras estratégias bioclimáticas presentes no projeto do módulo.

Embora os custos da infraestrutura necessária para instalação das salas tendam a inviabilizar a desmontagem e posterior reutilização dessa infraestrutura complementar, as salas modulares podem ser desconstruídas (diretriz 26) uma vez que existe acesso a todas as áreas para realizar a desmontagem dos componentes (diretriz 31).

A aplicação das diretrizes sobre o projeto de salas modulares do IFMS foi organizada por meio da

Tabela 8 onde foi avaliada por uma escala Likert de 3 pontos (1 = diretriz não se aplica; 2 = diretriz aplica-se parcialmente; 3 = diretriz aplicada totalmente).

Tabela 8 - Aplicação de diretrizes sobre salas modulares.

Nº	DIRETRIZ	EVIDÊNCIA	Avaliação
1	Deve haver o gerenciamento e compatibilização de projetos e diferentes serviços envolvidos.	Projeto compatibilizado na fabricação da sala.	3
2	Deve haver o planejamento das técnicas construtivas, dos recursos humanos e das máquinas necessárias.	Tecnologia de pré fabricação.	3
3	Deve haver o planejamento e gestão da geração de resíduos	-	1
4	O projeto deve considerar a reciclagem de materiais, componentes ou módulos.	-	1
5	O projeto deve considerar a reutilização de materiais, componentes ou módulos.	-	1
6	O projeto deve considerar as dimensões e sombreamento das aberturas para conforto térmico.	Corredores com beirais.	3
7	O projeto deve especificar acabamentos e isolamento térmico compatíveis com as condições climáticas.	Painéis com isolante térmico.	3
8	O projeto deve especificar materiais duráveis e de qualidade	Modulos tem alta durabilidade.	3
9	O projeto deve oferecer instruções de montagem/desmontagem.	-	1
10	O projeto deve ordenar os componentes pela expectativa de vida deles para viabilizar manutenção e desmontagem por etapas	Hierarquização dos materiais.	2
11	O projeto deve planejar a quantidade e a qualidade dos materiais.	Aquisição de materiais foi pré estabelecida.	3
12	Projeto deve permitir reformas e alterações no envoltório do edifício.	Foram realizados projetos complementares no envoltório.	3
13	Deve haver a conscientização dos clientes sobre materiais ecológicos, elementos resistentes e não tóxicos.	IFMS entende ser um projeto sustentável e tecnologico.	3
14	Deve haver a conscientização dos clientes sobre o impacto da geração de resíduos e os benefícios de reduzi-los e a economia de dinheiro.	IFMS entende ser um projeto sustentável e tecnologico.	3
15	Deve haver o acompanhamento da construção sob as instruções dos engenheiros projetistas, engenheiros estruturais, elétricos e/ou topógrafos	Modulos fabricados em ambiente fabril.	3
16	O projeto deve permitir que a estrutura e o revestimento sejam independentes	Fundação, modulos e revestimentos independentes	3
17	O projeto deve prever a eliminação ou redução de resíduos.	Obras com pré fabricados geram menos residuos.	3
18	O projeto deve prever estruturas, unidades e produtos pré-fabricados, minimizando ao máximo a produção de componentes in loco	Modulos pré fabricados.	2
19	O projeto deve ser adaptável às necessidades do usuário.	Modulos permitem opções de projetos.	3
20	O projeto deve utilizar o conceito de flexibilidade: a capacidade de o material ser instalado e desinstalado com rapidez e facilidade	Os modulos podem ser montados e desmontados.	2
21	O projeto modular deve ter dimensões compatíveis com padrões existentes de cada material empregado e/ou com as dimensões e produtos disponíveis no mercado	Espessura do modulo feita de acordo com o material isolante.	3

Nº	DIRETRIZ	EVIDÊNCIA	Avaliação
22	Observar a orientação solar e fatores bioclimáticos do local de implantação.	-	1
23	O projeto deve considerar o conforto térmico, acústico e lumínico nas decisões projetuais.	Modulos com isolante termico e acustico e janelas.	3
24	O projeto deve prever o uso e dimensionamento de materiais leves que facilitam manuseio e transporte.	Modulos leves que facilitaram o transporte.	3
25	O projeto deve ser adaptável à forma da superfície: possibilidade do sistema se adequar a condições físicas mais elaboradas.	Cada campus seguiu seu próprio plano diretor e necessidades específicas para escolha das salas.	3
26	O projeto deve considerar a desconstrução.	Sala pode ser desconstruida.	3
27	O projeto deve considerar a avaliação pós-ocupação.	-	1
28	O projeto deve conter um modelo 3D, detalhado e de fácil compreensão.	-	1
29	O projeto deve conter um número reduzido em variedade e número de componentes.	Modulos já contemplam instalações elétricas.	3
30	O projeto deve permitir a montagem/desmontagem de componentes/módulos de forma independente.	Os modulos podem ser desmontados.	3
31	O projeto deve prever o acesso a todas as áreas do edificio quando for preciso desmontá-lo	Todas as areas das salas modulares podem ser acessadas.	3
32	O projeto deve utilizar sistema aberto que permita alternativas estruturais.	Os modulos oferecem diferentes opções de projeto.	2

Fonte: Autora (2021).

Ao analisar a

Tabela 8 verifica-se que as salas modulares utilizadas pelo IFMS nos campi atendem a 25 das 32 diretrizes aceitas pelo processo de validação por especialistas; destas 25 atendidas, 4 foram atendidas parcialmente. Conclui-se que as salas modulares estão em consonância com as diretrizes de arquitetura modular sob a perspectiva da EC, entretanto, alguns ajustes como planejamento melhor da gestão reciclagem e reuso, gerenciamento de resíduos, a implementação do BIM as tornariam mais eficientes.

Não foi evidenciado que a organização fez uma avaliação pós-ocupação mais profunda (diretriz 27) para verificar o desempenho da sala modular não apenas na função da edificação, mas também na questão econômica. Algumas discussões frequentes a respeito das salas é que foram adquiridas como equipamentos e teriam caráter efêmero, podendo ser desmontadas e transportadas, portanto, é se deveriam ser contabilizadas como área construída em documentos como alvará de funcionamento e aprovação de projetos de ampliação.

Para fins de aprovações de projeto, concessões de alvarás e tributações, cada município tem legislações próprias como código de obras, plano diretor e lei de uso

dos solos. No que tange o município de Campo Grande – MS, de acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (anexo 1 – definições) é considerada área construída: “soma das áreas dos pisos cobertos de todos os pavimentos de uma edificação, que apresentem pé direito superior a 2,10m (dois vírgula dez metros), computado todo elemento coberto que avance mais que 1,50 m (um metro e cinquenta centímetros) a partir da prumada da parede”. Entretanto, não é abordada especificamente a questão de edificações modulares ou temporárias especificamente.

Outro debate é acerca do custo final, haja vista que apesar de terem sido compradas por preço fechado, cada instalação exigiu obras preliminares no entorno e terraplenagem o que encareceu cerca de 23% o custo final de instalação. Essas temáticas podem representar lacunas para futuras pesquisas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo identificar diretrizes para métodos projetuais sustentáveis, com destaque para a arquitetura modular. Os procedimentos metodológicos adotados possibilitaram a compreensão dos desafios impostos aos profissionais da construção civil para fazer a implantação da arquitetura modular, visto que se trata de uma disrupção no modelo construtivo tradicional, com enfoque substancial na fase de projeto.

Evidenciou-se que a academia discute o tema por meio de cinco grandes classes temáticas (ou eixos) identificadas na análise de conteúdo: políticas públicas para a implantação de modelos sustentáveis e a gestão de resíduos; b) o consumo energético e os recursos naturais; c) inovações tecnológicas, com destaque para o BIM; d) características para a implantação da EC; e) as metodologias para projetos modulares.

Identificaram-se as principais diretrizes para projetos modulares que foram classificadas conforme a fase em que o profissional esteja atuando: projeto, execução, manutenção e desmontagem. A fase de projeto foi a que mais possui diretrizes, o que indica que o planejamento da construção é prioritário neste método projetual. A arquitetura modular pode ser uma estratégia de gestão em situações de altas demandas emergentes e para evitar demolições de edificações ao permitir a desmontagem total ou parcial e o reuso. Ela confere agilidade na execução e sua capacidade de desmontagem pode conferir às estruturas uma flexibilidade de uso em relação ao objetivo empregado a determinada construção.

Como limitação deste trabalho, destaca-se a incipiência da arquitetura modular no mercado da construção brasileiro, especialmente ao se tratar da arquitetura modular sob a ótica da EC. Por este motivo, para o crescimento do uso do método projetual/construtivo é necessário: a popularização de dados e pesquisas a respeito do tema entre usuários e profissionais de diferentes áreas do saber e o trabalho multidisciplinar envolvendo os projetos modulares.

REFERÊNCIAS

- ABARCA-GUERRERO, LILLIANA; LEANDRO-HERNANDEZ, ANA GRETTEL. Material Management Practices For Construction Waste Reduction. WIT Transactions on Ecology and the Environment, v. 223, p. 551-557, 2017.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro, 2002a. Disponível em: <http://www.ifcs.ufrj.br/~aproximacao/anbtnbr10520.pdf>
- ADAMS, Katherine Tebbatt *et al.* Circular economy in Construction: current awareness, challenges and enablers. In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management. Thomas Telford Ltd, 2017. p. 15-24.
- ÅGREN, Robert; WING, Robert D. Five moments in the history of industrialized building. Construction management and economics, v. 32, n. 1-2, p. 7-15, 2014.
- AKANBI, L. A. *et al.* Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. Resources, Conservation and Recycling, v. 129, p. 175-186, 2018. ISSN 09213449 (ISSN).
- AKBARNEZHAD, A.; ONG, K. C. G.; CHANDRA, L. R. Economic and environmental assessment of deconstruction strategies using Building information modeling. Automation in Construction, v. 37, p. 131-144, 2014. ISSN 09265805 (ISSN).
- AKINADE, Olugbenga O. *et al.* Design for Deconstruction (DfD): Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills. Waste management, v. 60, p. 3-13, 2017.
- ALLAHYARI, Teimour *et al.* Development and evaluation of a new questionnaire for rating of cognitive failures at work. 2011.
- ARCHAMBAULT, Éric *et al.* Comparing bibliometric statistics obtained from the Web of Science and Scopus. Journal of the American society for information science and technology, v. 60, n. 7, p. 1320-1326, 2009.
- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. Journal of informetrics, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.

BEETGE, Willem Gerhardus; DE CANHA, D.; PRETORIUS, J. H. C. Managing the design and development of high-performance buildings through integrated design. IEEE, 2017.

BENEVOLO, Leonardo; História da arquitetura moderna. São Paulo: Editora Perspectiva. 2001.

BEZERRA, Pedro Henrique Pinto; SANTOS, Adriana de Paula Lacerda; SCHEER, Sergio. BIM no planejamento de empreendimentos com sistemas de painéis pré-fabricados: uma alternativa para obras de habitação social. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 9, n. 3, p. 192-203, 2018.

BONVOISIN, Jérémy *et al.* A systematic literature review on modular product design. Journal of Engineering Design, v. 27, n. 7, p. 488-514, 2016.

BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Construção Sustentável. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 307, de 05/07/2002.

CALLON, Michel *et al.* From translations to problematic networks: An introduction to co-word analysis. Social science information, v. 22, n. 2, p. 191-235, 1983.

CAMARGO, Brígido Vizeu; JUSTO, Ana Maria. IRAMUTEQ: um software gratuito para análise de dados textuais. Temas em psicologia, v. 21, n. 2, p. 513-518, 2013.

CASA ABRIL. Casas e Apartamentos. 4 casas da arquitetura modernista norte-americana que estão à venda, 2021. Disponível em: <https://casa.abril.com.br/casas-apartamentos/4-casas-da-arquitetura-modernista-norte-americana-que-estao-a-venda/>>. Acesso em 04 de dezembro de 2021.

CAVALCANTE, Ricardo Bezerra; CALIXTO, Pedro; PINHEIRO, Marta Macedo Kerr. Análise de conteúdo: considerações gerais, relações com a pergunta de pesquisa,

possibilidades e limitações do método. *Informação & Sociedade: Estudos*, v. 24, n. 1, 2014.

CRETU, Raluca Florentina *et al.* CIRCULAR ECONOMY, GREEN BUILDINGS AND ENVIRONMENTAL PROTECTION. *Quality-Access to Success*, v. 20, 2019.

CROSS, Cate; OPPENHEIM, Charles. A genre analysis of scientific abstracts. *Journal of documentation*, v. 62, n. 4, p. 428-446, 2006.

CROWTHER, Philip. A taxonomy of construction material reuse and recycling: Designing for future disassembly. *European journal of sustainable development*, v. 7, n. 3, p. 355-363, 2018.

DE LIMA JUNIOR, José Edwalto; DE MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias; TAVARES, Sérgio Fernando. Fachadas vegetais para melhora do conforto ambiental de edificações: escolha para Curitiba usando análise hierárquica. *Arquiteturarevista*, v. 13, n. 1, p. 50-60, 2017.

DELFANI, Mohsen *et al.* Towards designing modular of industrialized building systems. *Jurnal Teknologi*, v. 78, n. 5, 2016.

DENIS, François; VANDERVAEREN, Camille; DE TEMMERMAN, Niels. Using network analysis and BIM to quantify the impact of design for disassembly. *Buildings*, v. 8, n. 8, p. 113, 2018

EMF. Ellen Macarthur Foundation. Towards the circular economy - Vol. 1: Economic and business rationale for an accelerated transition. Isle of Wight: EMF, 2015.

Disponível em: <
https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation_9-Dec-2015.pdf> Acesso em 14 jun 2020.

GE, Xin Janet *et al.* Deconstruction waste management through 3d reconstruction and bim: a case study. *Visualization in engineering*, v. 5, n. 1, p. 1-15, 2017.

GHISELLINI, Patrizia *et al.* Evaluating the transition towards cleaner production in the construction and demolition sector of China: A review. *Journal of cleaner production*, v. 195, p. 418-434, 2018.

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, v. 114, p. 11-32, 2016.

GRANJA, A. D. Inovação tecnológica na construção civil. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 6, n. 4, p. 252–254, 2015. DOI: 10.20396/parc.v6i4.8644407. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8644407>.

GUERRERO, R. E. L. Escolhas sustentáveis em sistemas de vedação: construção de uma métrica de avaliação relativa. 2016. 202 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo PPGAU, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.

HALLINGER, P.; CHATPINYAKOOP, C. A bibliometric review gives research in higher education for sustainable development, 1998-2018. *Sustainability*, v.11, n. 8, p. 2401. 2019.

HARROUK, Christele. Hospitais temporários de Wuhan são fechados com a redução dos riscos de coronavírus na China [Wuhan's Temporary Hospitals Close as Risk of Coronavirus Decreases] 18 Mar 2020. *ArchDaily Brasil*. (Trad. Baratto, Romullo) Acessado 30 Set 2020. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/935851/hospitais-temporarios-de-wuhan-sao-fechados-com-a-reducao-dos-riscos-de-coronavirus>> ISSN 0719-8906

HOOD, W. W.; WILSON, C. S. The literature of bibliometrics, scientometrics, and informetrics. *Scientometrics*, v. 52, n. 2, p. 291-314, 2001.

HOSEY, Shannon *et al.* *Digital Design for Disassembly*. 2015.

HÜBNER, Felix *et al.* Review of project planning methods for deconstruction projects of buildings. *Built Environment Project and Asset Management*, 2017.

ISAAC, Shabtai; BOCK, Thomas; STOLIAR, Yaniv. A methodology for the optimal modularization of building design. *Automation in construction*, v. 65, p. 116-124, 2016.

JACSÓ, P. As we may search—comparison of major features of the Web of Science, Scopus, and Google Scholar citation-based and citation-enhanced databases. *Current science*, v. 89, n. 9, p. 1537-1547, 2005.

JOACHIM, Onuoha Iheanyichukwu *et al.* Theoretical explanations of environmental motivations and expectations of clients on green building demand and investment. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2015. p. 012010.

JONES, Peter; COMFORT, Daphne. Towards the circular economy: A commentary on corporate approaches and challenges. *Journal of Public Affairs*, v. 17, n. 4, p. e1680, 2017.

KALMYKOVA, Y.; SADAGOPAN, M.; ROSADO, L. Circular economy - From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 135, p. 190-201, 2018. ISSN 09213449 (ISSN).

KIM, Samyeon; MOON, Seung Ki. Eco-modular product architecture identification and assessment for product recovery. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 30, n. 1, p. 383-403, 2019.

KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, v. 127, p. 221-232, 2017.

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. *Keele University*, v. 33, n. 2, p. 1-26. 2004.

KLEEMANN, Fritz *et al.* A method for determining buildings' material composition prior to demolition. *Building Research & Information*, v. 44, n. 1, p. 51-62, 2016.

KNOPF, J. W. Doing a literature review. *PS: Political Science and Politics*, v. 39, n. 1, p. 127-132, 2006.

KORHONEN, Jouni; HONKASALO, Antero; SEPPÄLÄ, Jyri. Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological economics*, v. 143, p. 37-46, 2018.

LAWSHE, C. H. A quantitative approach to content validity. *Personnel psychology*, v. 28, n. 4, p. 563-575, 1975.

LUO, Hanbin *et al.* Ultra-rapid delivery of specialty field hospitals to combat COVID-19: Lessons learned from the Leishenshan Hospital project in Wuhan. *Automation in Construction*, v. 119, p. 103345, 2020.

MANENTI, Leandro. Princípios de ordem projetual na obra de Vitruvius. *Arquiteturarevista*, v. 6, n. 1, p. 1-11, 2010.

MICHELI, Guido JL *et al.* Modularization as a system life cycle management strategy: Drivers, barriers, mechanisms and impacts. *International Journal of Engineering Business Management*, v. 11, p. 1847979018825041, 2019.

MINUNNO, Roberto *et al.* Strategies for applying the circular economy to prefabricated buildings. *Buildings*, v. 8, n. 9, p. 125, 2018.

MOON, Nic. The Cocoon. Nic Moon, 2021. Disponível em: <<https://nicmoon.co.nz/2017/06/15/the-cocoon/>> . Acesso em 08 de novembro de 2021.

MURRAY, Alan; SKENE, Keith; HAYNES, Kathryn. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of business ethics*, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.

NUSHI, Violeta; BASHA-JAKUPI, Arta. The integration of BIM in education: a literature review and comparative context. *Global Journal of Engineering Education*, v. 19, n. 3, p. 273-278, 2017.

O'CONNOR, James T.; O'BRIEN, William J.; CHOI, Jin Ouk. Industrial project execution planning: Modularization versus stick-built. *Practice periodical on structural design and construction*, v. 21, n. 1, p. 04015014, 2016.

OCCHI, Tailene; ALMEIDA, Caliane Christie Oliveira de. Construções em containers: Soluções sustentáveis para isolamentos. *SEMINARIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTAVEIS*, v. 5, p. 1-6, 2016.

OYEDELE, Lukumon O.; AJAYI, Saheed O.; KADIRI, Kabir O. Use of recycled products in UK Construction industry: An empirical investigation into critical impediments and strategies for improvement. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 93, p. 23-31, 2014.

PEREIRA, Mauricio Gomes. O resumo de um artigo científico. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 22, n. 4, p. 707-708, 2013.

PYLOUDI, Eleni; PAPANTONIOU, Sotiris; KOLOKOTSA, Dionysia. Retrofitting an office building towards a net zero energy building. *Advances in Building Energy Research*, v. 9, n. 1, p. 20-33, 2015.

RAMOS, Maurivan Güntzel; LIMA, Valderez Marina Rosário; ROSA, Marcelo Prado Amaral. Contribuições do software IRAMUTEQ para a Análise Textual Discursiva. *CIAIQ2018*, v. 1, 2018.

RANDOLPH, J. A guide to writing the dissertation literature review. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, v. 14, n. 1, p. 13, 2009.

RIBEIRO, F. de M.; KRUGLIANSKAS, Isak. A Economia Circular no contexto europeu: Conceito e potenciais de contribuição na modernização das políticas de resíduos sólidos. XVI Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente (ENGEMA). São Paulo, 2014.

ROWLEY, J.; SLACK, F. Conducting a literature review. *Management research news*, v. 7, n. 6, p. 31-39, 2004.

SAADE, M. R. M.; OLIVEIRA, B. M. de; SILVA, M. G. da; SILVA, V. G. da. Aplicação da Análise do Ciclo de Vida na construção civil: discussão sobre alocação de impactos entre o aço e suas escórias. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 1, n. 6, p. 97–114, 2011. DOI: 10.20396/parc.v1i6.8634489.

SALEEM, Muhammad *et al.* Life cycle thinking–based selection of building facades. *Journal of Architectural Engineering*, v. 24, n. 4, p. 04018029, 2018.

SAROOP, Shian Hemraj; ALLOPI, Dhiren. The use of eco efficient criteria in the design of infrastructure projects. *International journal of sustainable development (Online)*, 2016.

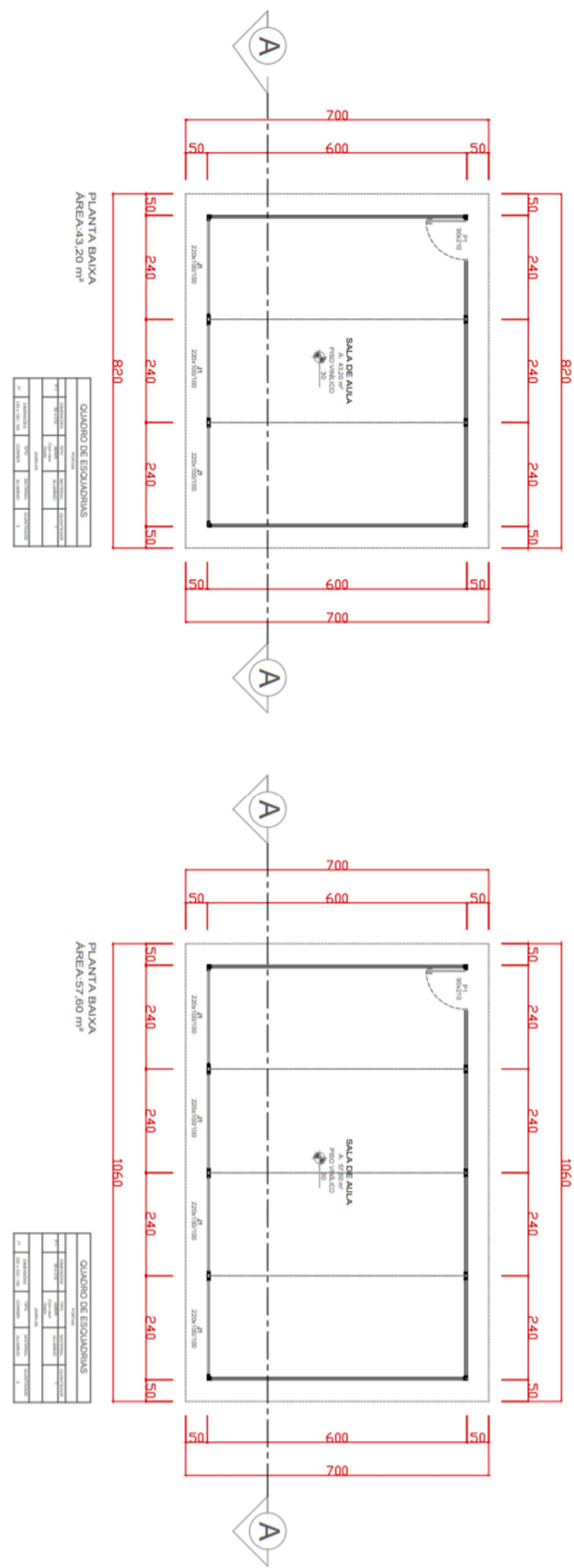
SAUVÉ, Sébastien; BERNARD, Sophie; SLOAN, Pamela. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, v. 17, p. 48-56, 2016.

SHARAFI, Pezhman *et al.* Identification of factors and decision analysis of the level of modularization in building construction. *Journal of Architectural Engineering*, v. 24, n. 2, p. 04018010, 2018.

- SILVA, Carlos. Toolkit de tratamento de dados não numéricos em ciências sociais com software de livre acesso. Faro: Sílabas & Desafios, 2019.
- SILVEIRA, Denise Tolfo; CÓRDOVA, Fernanda Peixoto. A pesquisa científica. Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. p. 33-44, 2009.
- SOUSA, Y. S. O. *et al.* O uso do software Iramuteq na análise de dados de entrevistas. Revista Pesquisas e Práticas Psicossociais, v. 15, n. 2, p. 1-19, 2020.
- THOMAZ, Petronio Generoso *et al.* Using the impact factor and H index to assess researchers and publications. Arq Bras Cardiol, v. 96, n. 2, p. 90-3, 2011.
- VALDEBENITO, Galo *et al.* the paradigm of circular economy in heritage preservation of Southern Chile. Arquiteturarevista, v. 17, n. 1, p. 73-89, 2021.
- VIERO, Carlos Frederico; DE LIMA NUNES, Fabiano. Módulo, modularidade, modularização e produto modular: uma análise bibliográfica a partir da evolução histórica conceitual. Revista ESPACIOS| Vol. 37 (Nº 03) Año 2016, 2016.
- VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. Automation in Construction, v. 38, p. 109-127, 2014. ISSN 09265805 (ISSN).
- WEE, B. V.; BANISTER, D. How to write a literature review paper? Transport Reviews, v. 36, n. 2, p. 278-288, 2016.
- WRIGHT, Frank Loyd. Rosenbaum House, 2021. Disponível em: <<https://www.wrightinlabama.com/>>. Acesso em 08 de dezembro de 2021.
- WUNI, Ibrahim Y.; SHEN, Geoffrey QP; OSEI-KYEI, Robert. Scientometric review of global research trends on green buildings in construction journals from 1992 to 2018. Energy and buildings, v. 190, p. 69-85, 2019.
- ZAIRUL, Mohd *et al.* The circular economy approach in a flexible housing project: A proposal for affordable housing solution in Malaysia. International Journal of Engineering and Technology, v. 7, n. 4.28, 2018.
- ZAMAN, Atiq U. *et al.* Resource harvesting through a systematic deconstruction of the residential house: a case study of the 'Whole House Reuse'project in Christchurch, New Zealand. Sustainability, v. 10, n. 10, p. 3430, 2018.

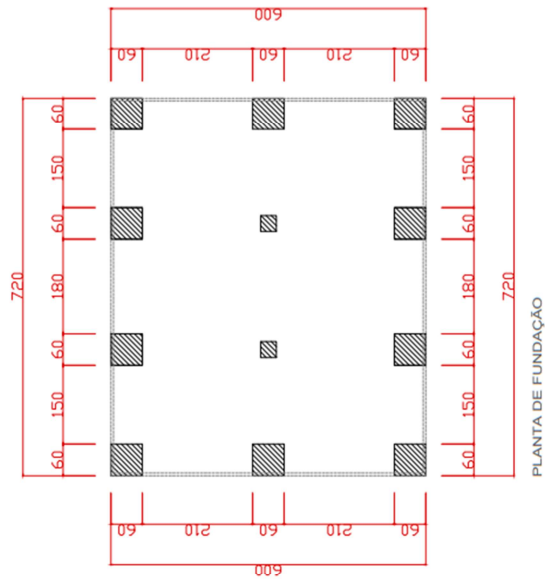
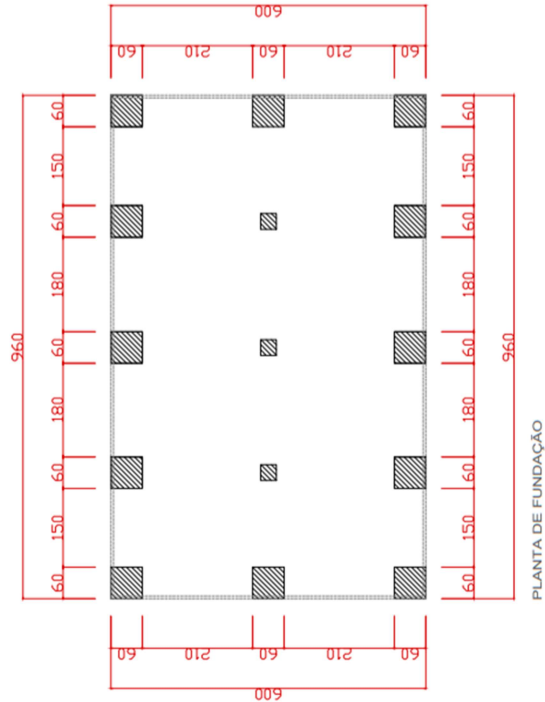
ZANNI, Sara *et al.* Life cycle assessment applied to circular designed construction materials. *Procedia CIRP*, v. 69, p. 154-159, 2018.

APÊNDICE A – Plantas salas modulares IFMS



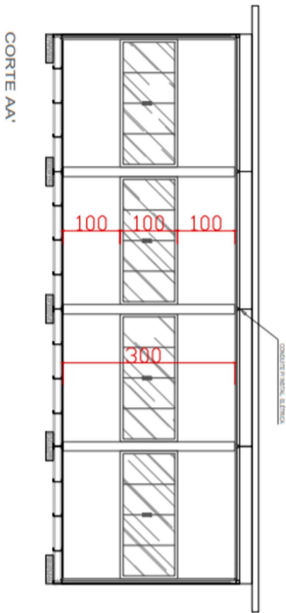
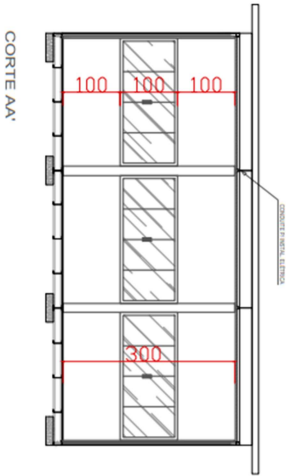
Fonte: Banco de dados IFMS

APÊNDICE B – Fundação salas modulares IFMS



Fonte: Banco de dados IFMS

APÊNDICE C – Cortes salas modulares IFMS



Fonte: Banco de dados IFMS