XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Ferramenta ACV aplicada em retrofit de edificações: uma revisão sistemática

LCA tool applied in building retrofit: a systematic review

Bárbara Pretto Biasi
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | barbarapbiasi@gmail.com
Daniela Bertuol
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | danielabertuol@gmail.com
Ana Carolina Badalotti Passuello
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | ana.passuello@ufrgs.br

Resumo
O processo de retrofit de edificações pode ser uma opção sustentável para o reaproveitamento de edificações e a mitigação de impactos ambientais. O objetivo do estudo é realizar uma revisão sistemática de literatura sobre o tema de ACV aplicada em retrofit, buscando analisar as contribuições e os métodos considerados. O estudo parte de 27 artigos publicados em periódicos internacionais, estruturados como estudos de caso e revisões sistemáticas. Nota-se que o retrofit de edificações oportuniza o aproveitamento de edificações existentes, a implementação de estratégias sustentáveis e, também, o desenvolvimento de mais estudos no âmbito científico nacional.

Palavras-chave: Revisão sistemática. Avaliação do Ciclo de Vida. Retrofit. Edificações.

Abstract
The building retrofit process could be a sustainable option for building reuse in the mitigation of the environmental impacts. The aim of this study is a systematic review focused in LCV of retrofitted buildings, looking for the contributions and methods applied. This research analyzes 27 international journals published articles, organized based on case study and systematic reviews. As has been noted, the buildings retrofit make the reuse of existing buildings possible, facilitate the implementation of sustainable strategies and, also, this type of studies boost the development of research in the national scientific scenario.

Keywords: Systematic review. Life Cycle Assessment. Retrofit. Buildings.

BIASI, Bárbara Pretto; BERTUOL, Daniela. PASSUELLO, Ana Carolina Badalotti. Ferramenta ACV aplicada em retrofit de edificações: uma revisão sistemática. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-15.

INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é responsável pela geração de altos impactos ambientais, principalmente na emissão de Gases Efeito Estufa (GEE) e no consumo energético, estima-se que 35% das emissões de dióxido de carbono são oriundas do setor construtivo [1]. Outro problema atual do setor é a obsolescência de edificações em centros urbanos, sendo necessária a modernização desses edifícios com adequação aos requisitos técnicos, funcionais, eficiência global e mitigação dos impactos [2].

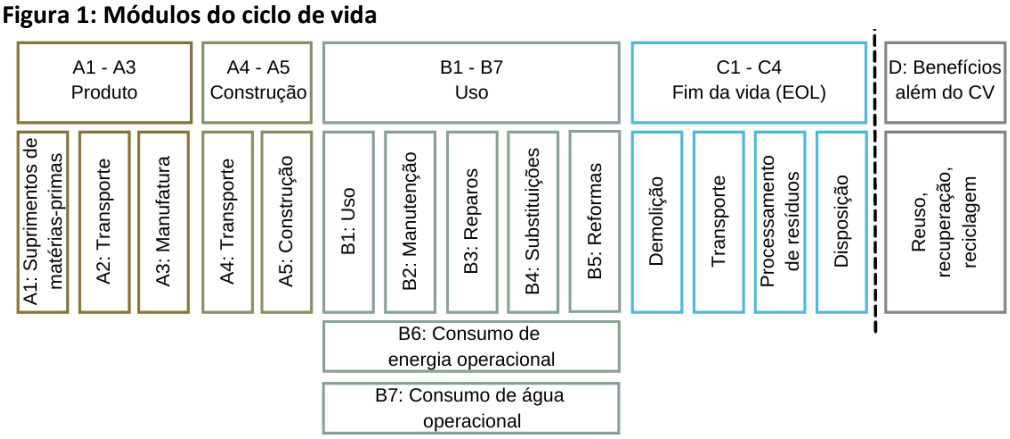
Em vista disso, o setor desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da sustentabilidade com estratégias para avaliar edifícios ao longo do ciclo de vida [2]. A reutilização e/ou remodelação de edifícios existentes aparece como uma alternativa viável econômica, social e ambientalmente [3]. O *retrofit* de edificações vem sendo cada vez mais empregado pelas vantagens quando comparado às novas construções: os edifícios "mais verdes" são aqueles que já temos [4].

O presente estudo é embasado em uma revisão sistemática sobre *retrofit* de edificações, com o intuito de quantificar, analisar e comparar diferentes métodos, ferramentas e estudos de caso sobre o tema. A revisão abrangente e atual na produção acadêmica permite determinar as contribuições construtivas, as abordagens de pesquisa, além dos benefícios ambientais com a aplicação da ACV. Ademais, há a identificação de possíveis lacunas para estudos futuros sobre a ACV em edificações submetidas à remodelação nos diferentes estágios de projeto.

Há o questionamento sobre os benefícios ambientais do *retrofit* para suprir as necessidades culturais da vida contemporânea, cumprindo as exigências normativas, utilizando inovações sustentáveis e técnicas de baixo impacto [6]. No âmbito social, a renovação de edifícios possibilita a continuidade do senso de comunidade entre gerações, já ambientalmente, estes projetos reduzem o consumo de recursos naturais e a pegada ecológica [4]. Alguns autores apontam que a reforma de edifícios tem alta influência no alcance dos objetivos globais de mitigação das mudanças climáticas [7].

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV – em inglês *Life Cycle Assessment*) é uma ferramenta para avaliação de categorias de impacto ambiental, que consiste na compilação de entradas, saídas e impactos potenciais de um sistema de produto/processo, levando em conta todos os estágios de ciclo de vida (Figura 1), desde a aquisição da matéria-prima até sua disposição final [8] sendo aplicada em diferentes tipos de edificações – novos edifícios, *retrofit* e análises comparativas [9].

Figura 1: Módulos do ciclo de vida



Fonte: adaptado de EN 15978:2011 [10].

A Figura 1 retrata o ciclo de vida de edificações conforme a EN 15978 [10]. Os limites do sistema de reformas (B5) são relativos à produção de novos componentes do edifício, ao transporte, renovação com construção, gestão de resíduos e fim de vida dos componentes substituídos. O *retrofit* pode estar inserido em diferentes módulos, a depender da abrangência e escopo da ACV – em alguns estudos, o retrofit compreende os módulos de produto (A1-A3), transporte (A4), construção (A5) e demolição (C1), além de reformas (B5) [11], [12].

MÉTODO

O método de pesquisa utilizado é a revisão sistemática de literatura, realizando uma investigação sobre a aplicação da ferramenta ACV aplicada em *retrofit* de edificações, com objetivo de analisar os estudos acadêmicos (convergências e divergências) e responder à questão: *Quais os benefícios ambientais das práticas retrofit em edificações com base na ACV?*

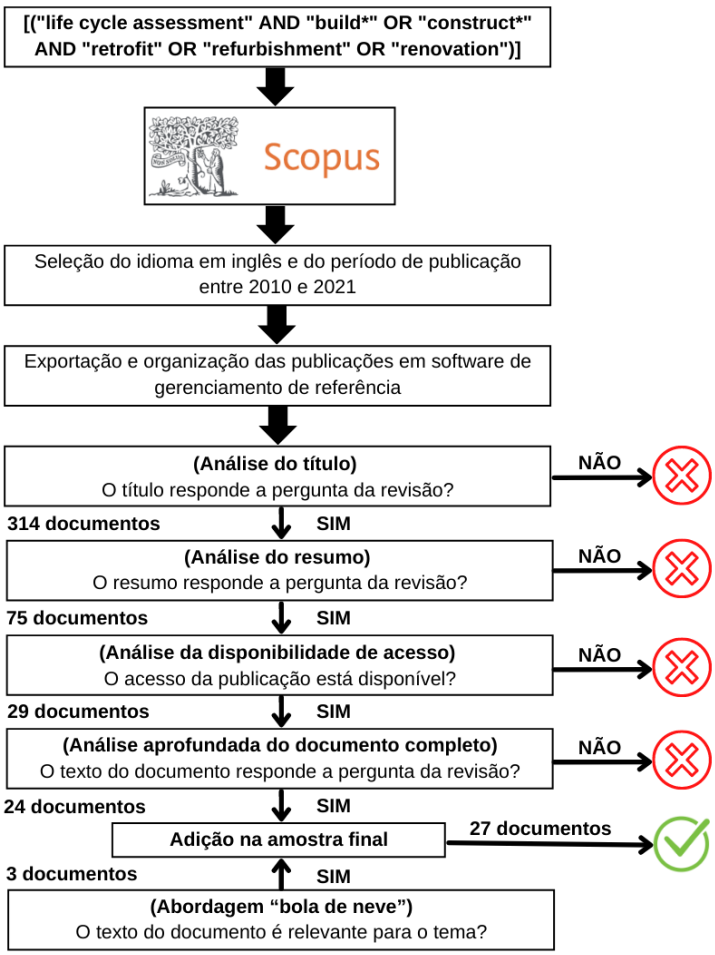
A pesquisa é realizada pela base de dados Scopus, devido à qualidade, confiança e ampla cobertura acadêmica nacional e internacional relacionados à ACV. Ademais, a abordagem "bola de neve" é utilizada para artigos não contemplados pela busca – sendo adicionados documentos extras relevantes ao tema.

A pesquisa é realizada no mês de outubro de 2021 com a *string* de palavra-chave *[("life cycle assessment" AND "build *" OR "construct*" AND "retrofit" OR "refurbishment" OR "renovation")].* O termo *retrofit* na literatura pode abranger terminologias variadas (recondicionamento, renovação, reparação, requalificação ou restauração), sendo consideradas diferentes expressões na busca para melhorar a abrangência da pesquisa. Os documentos estão no idioma inglês, publicados no período de 2010-2021, exportados no *Excel* e no *Mendeley* para organização/gerenciamento de referências.

Na sequência, os documentos são submetidos a cinco rodadas de filtragem com análises de título, resumo, disponibilidade de acesso e análise aprofundada do documento completo, além da abordagem "bola de neve". Os critérios para seleção dos documentos são: enfoque comparativo entre edificações novas e *retrofit*, ACV com abrangência de todo ciclo de vida da edificação e revisões críticas sobre o tema. A fase

de análise da disponibilidade de acesso consiste na verificação da publicação em texto completo, considerando a existência de plataformas de acesso restrito. A Figura 2 demonstra de forma ilustrativa o fluxo do estudo.

Figura 2: Fluxo metodológico simplificado do estudo



Fonte: as autoras.

A graficação dos dados é feita no *Excel* e as figuras são montadas pelo *Canva.* A nuvem de palavras é desenvolvida no *Wordcloud* (disponível em https://www.wordclouds.com/), como um método heurístico de representação, onde o tamanho visual das palavras é proporcional a sua relevância, ocorrência e/ou contagem simples no texto.

A discussão dos resultados consiste em um método qualitativo e quantitativo para mensurar a contribuição das publicações para o conhecimento sobre o tema. Os documentos são analisados pelas informações da publicação (ano, país, meio de publicação e tipo de estudo) e pelas características da aplicação ferramenta ACV, como idade da edificação, período de estudo, estágios construtivos e outros.

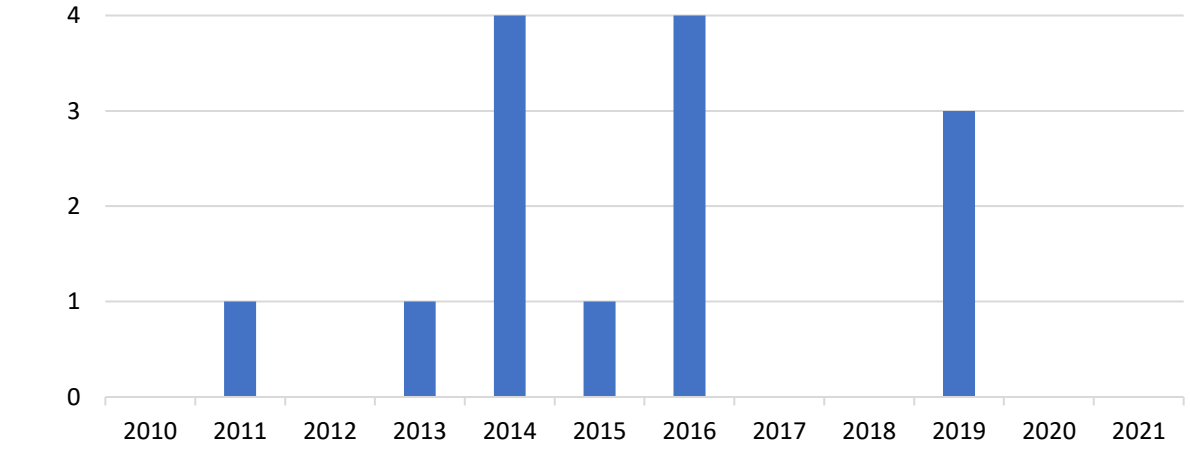
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são discutidos na sequência nas subseções (i) Análise bibliométrica com a determinação do perfil das publicações e (ii) Panorama dos estudos de caso, que trata das especificações da ACV.

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A análise bibliométrica define o perfil das publicações: ano, país, meios de publicação, tipo de publicação e palavras-chave. Os resultados são demonstrados na sequência.

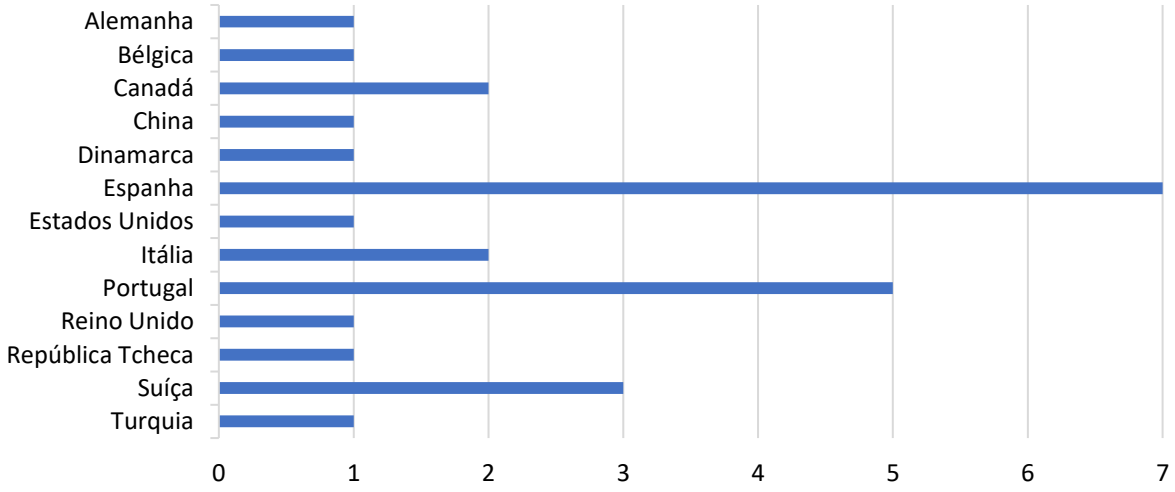
Figura 3: Número de documentos *versus* Ano de publicação



Fonte: as autoras.

No ano de publicação (Figura 3) nota-se o aumento de estudos a partir de 2013, que pode ser justificado pela crescente preocupação ambiental na construção e pela busca de alternativas para mitigação dos impactos, além da necessidade de *retrofit*/renovações de edificações já existentes visando atender às novas demandas tecnológicas e energéticas [9]. Todavia, há necessidade de mais estudos relacionados ao tema, principalmente no âmbito nacional – não representado na seleção de documentos do presente estudo, como visto na Figura 4.

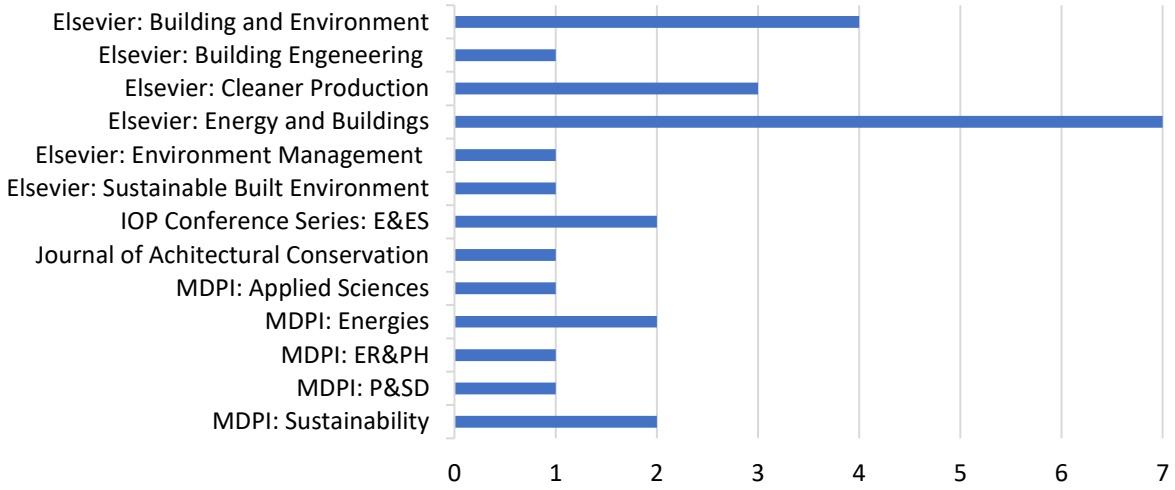
Figura 4: Número de documentos *versus* País de publicação



Fonte: as autoras.

No quesito de país de publicação (Figura 4) há uma ampla gama de publicações em países da Europa, onde a maioria do estoque de construções foi construída durante a década de 1940-1970 com baixos padrões de qualidade em materiais e energia, apresenta-se como um vasto campo para pesquisas sobre *retrofit* [4]. Há o questionamento sobre a existência de maior incentivo cultural e econômico para estas intervenções em países europeus, apontando uma lacuna para estudos posteriores.

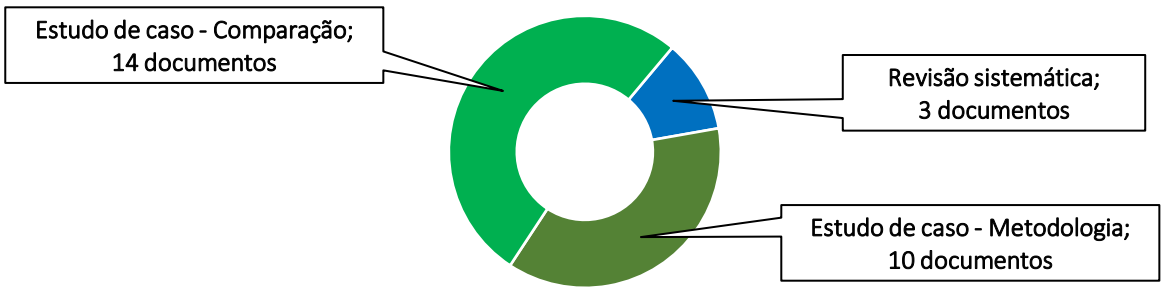
Figura 5: Número de documentos *versus* Meios de publicação



Nota: onde IOP Conference Series: E&ES (Earth and Environmental Science), MDPI: P&SD (Protection and Sustainable Development of Traditional Earthen Architecture) e MDPI: ER&PH (Environment Reseach and Public Health). Fonte: as autoras.

Os meios de publicação (Figura 5) são periódicos internacionais em diferentes áreas, sendo contabilizados 8 documentos na Elsevier (30%), 2 documentos no *Institute of Physics (IOP)* com 7%, outros 2 documentos (7%) no *Journal of Achitectural Conservation* e, por fim, cerca de 56% (15 documentos) *na Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).*

Figura 6: Número de casos *versus* Tipo de estudo



Fonte: as autoras.

A partir de análise do texto, as publicações são divididas em três categorias quanto ao tipo de estudo (Figura 6): (1ª) Revisão sistemática, que consiste em uma revisão científica das principais contribuições sobre o tema; (2ª) Estudo de caso – Comparação, são definidos a partir do enfoque principal comparativo entre *retrofit* e construções

novas; (3ª) Estudo de caso – Metodologia, os quais verificam a aplicabilidade da ferramenta ACV em *retrofit*. Nota-se que quase 90% dos documentos são "Estudo de caso", o que possibilita a análise ampla de casos, e apenas 3 (três) publicações são "Revisão sistemática" [2], [9], [13] utilizadas para o embasamento das discussões.

Figura 7: Nuvem de palavras-chave



Fonte: as autoras.

A Figura 7 representa a nuvem de palavras-chave utilizadas pelos autores das 27 publicações em estudo. As palavras em destaque remetem à ACV e termos referentes aos custos, energia, renovação, *retrofit* e construção. São encontradas terminologias variadas quanto buscamos por *retrofit* (recondicionamento, renovação, reparação ou restauração), o que causa a redução da participação individual de cada um dos termos.

PANORAMA DOS ESTUDOS DE CASO

O panorama busca analisar as principais características da aplicação da ferramenta ACV nas publicações sobre Estudos de caso (Metodologia/Comparação), levando em conta: tipo de edificação, localização, natureza de intervenção, estágios de construção, período de estudo e idade das edificações. Na sequência, o Quadro 1 demonstra os primeiros resultados de forma sistemática.

Quadro 1: Caracterização dos estudos de caso

Referência	Tipo de edificação	Localização	Natureza de intervenção
[11]	Edificação industrial	Itália	Reforma de envelope
[12]	Residencial multifamiliar	Alemanha	Reforma de envelope
[7]	Residencial unifamiliar	Portugal	Remodelação de cobertura
[4]	Misto - Comercial e residencial	China	Remodelação diversa
[1]	Edificação educacional - Escola	Turquia	Remodelação estrutural
[6]	Residencial multifamiliar	Portugal	Remodelação estrutural
[23]	Edificação industrial	Espanha	Remodelação estrutural
[27]	Residencial unifamiliar	Canada	*Retrofit* de energia
[18]	Residencial multifamiliar	Suíça	*Retrofit* de envelope e sistema de aquecimento
[14]	Edificação educacional - Universidade	Itália	*Retrofit* de sistema térmico
[20]	Edificação institucional - Pública	Bélgica	*Retrofit* de sistema térmico
[25]	Residencial multifamiliar	Canadá	*Retrofit* de sistema térmico
[3]	Residencial unifamiliar e multifamiliar	Portugal	*Retrofit* de sistema térmico
[16]	Residência unifamiliar	Portugal	*Retrofit* de sistema térmico de cobertura
[15]	Residência unifamiliar	Portugal	*Retrofit* de toda construção
[5]	Residencial multifamiliar	Noruega	*Retrofit* de toda construção
[17]	Edificação educacional - Não especificada	China	*Retrofit* de toda construção
[19]	Edificação comercial	Estados Unidos	*Retrofit* de toda construção
[21]	Residência unifamiliar	Espanha	*Retrofit* de toda construção
[22]	Residência unifamiliar	Portugal	*Retrofit* de toda construção
[24]	Residencial multifamiliar	Espanha	*Retrofit* de toda construção
[26]	Residencial unifamiliar	República Tcheca	*Retrofit* de toda construção
[28]	Residencial multifamiliar	Espanha	*Retrofit* de toda construção
[29]	Edificação educacional - Escola	Dinamarca	*Retrofit* de toda construção

Fonte: as autoras.

Segundo o Quadro 1, cerca de 66% das publicações (16 estudos) tratam de edificações residenciais (multifamiliares/unifamiliares), também há casos específicos sobre comerciais, educacionais, industriais e institucionais. A localização majoritária está em países da Europa, com destaque para Portugal com 6 casos. A natureza da intervenção é variável, há 9 casos com "*Retrofit* de toda construção" (Quadro 1 em azul escuro) – por exemplo, em [24] que são renovadas as partes de cobertura, janelas e fachada da edificação. Outro exemplo, seria o caso do estudo comparativo sobre o *retrofit* de um edifício residencial de 1930 [5], com os seguintes resultados: (a) redução de 70% nas emissões do uso de energia no consumo de materiais; (b) emissões da fase de construção são 12 vezes maiores para a nova construção do que para a reforma; (c) ao longo de 60 anos, a reforma proporciona uma redução de 67% nas emissões totais de GEE – com a transição da caldeira a óleo para o fogão a lenha como principal fonte de calor no edifício remodelado.

Nota-se nos estudos analisados uma tendência para remodelação completa ou adequações em coberturas em edificações de uso residencial, provavelmente influenciadas pelos usuários [15][16]. Enquanto, o *retrofit* de envelope e sistemas de energia é mais comum em edifícios industriais, possivelmente pela necessidade de acompanhar as evoluções tecnológicas [11].

No "*Retrofit* de sistema térmico" (Quadro 1 em verde claro) de [14] demonstra o estudo de três cenários com resultados que mostram que o uso de material de cânhamo, para paredes térmicas isolamento, reduz significativamente os impactos ambientais em todo o ciclo de vida (em comparação com os materiais tradicionais).

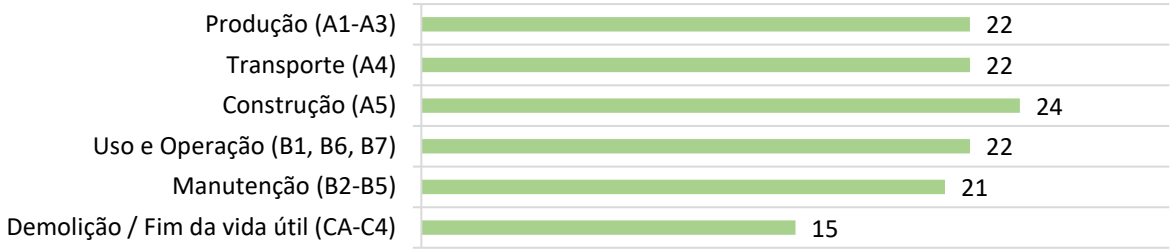
As edificações residenciais de [3] são submetidas a uma metodologia integrada com síntese energética e ACV, objetivando o desenvolvimento da área energética. Onde a síntese energética é o processo de determinação dos tipos de energias e recursos usados direta/indiretamente na biosfera para produzir um produto/serviço específico, com a unidade de Joule solar (SeJ).

A "Reforma de envelope" é apresentada em 3 estudos de caso [11], [12], [18] que relatam que a escolha de materiais influencia na energia incorporada e nas emissões de GEE. Conforme Weiler e autores [12], a diferença de energia necessária entre os casos de edifícios reformados e não reformados é mínima (cerca de 7%) e a massa total dos materiais de construção é 5% superior para o edifício com remodelação média em comparação com o edifício original. Do ponto de vista energético, reformar um edifício existente se mostra mais benéfico do que demolir/reconstruir um padrão – como a entrada de energia em edifícios remodelados é apenas para o isolamento, a energia de produção é significativamente mais baixa do que para os novos edifícios.

A "Remodelação estrutural" em [1] considera a comparação entre um novo edifício construído com elementos modernos e um edifício remodelado de 1875, pode-se constatar que a restauração aumenta 56,6% da energia incorporada (EE), sendo assim, para a reabilitação e equilíbrio do cenário energético, há a necessidade da instalação de isolamento térmico no envelope do edifício (paredes e tetos), além de sistemas *Heating, Ventilating and Air Conditioning* (HVAC) de alta eficiência.

No geral, os estudos demonstram que a reforma apresenta impactos menores ao ambiente do que o processo de demolição e construção de uma nova edificação equivalente, entretanto, muitas vezes a falta de estudos sobre os impactos econômicos e sociais influencia na tomada de decisões no setor de construção [6]. Nos últimos anos, além das preocupações ambientais, os avanços tecnológicos incentivam o aumento pela busca de *retrofit* – os sistemas/instalações antigos já não comportam as necessidades contemporâneas, indicando outra lacuna a ser avaliada.

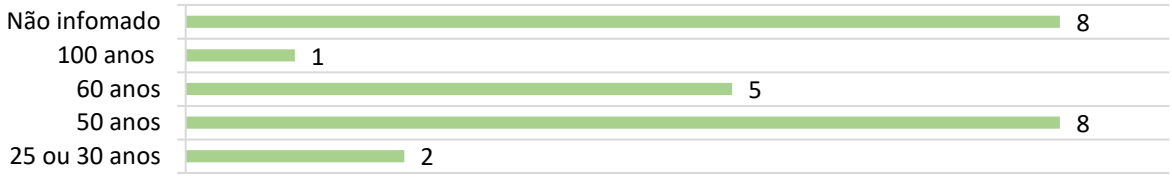
Figura 8: Número de casos *versus* Módulos de construção



Fonte: as autoras.

A Figura 8 contabiliza os diferentes módulos de construção considerados em cada publicação com base na norma europeia EN 15978 [10] – expressos anteriormente na Figura 1. A maioria dos estudos (15 dos 24 documentos) empregam a ACV "do berço ao túmulo" com abrangência de todo o ciclo de vida da edificação. O estágio de construção (A4-A5) é analisado em todos os estudos de caso, levando em conta os processos para novas construções. A abordagem *retrofit* possui referência direta com o estágio de manutenção, analisado em 21 documentos – aqui representando também os estágios de B3 (reparos), B4 (substituições) e B5 (reformas). A manutenção visa algum tipo de intervenção construtiva para acrescentar novos materiais ou elementos, incluir melhorias estéticas ou espaciais das edificações e/ou restaurar usos específicos aos elementos da construção [9].

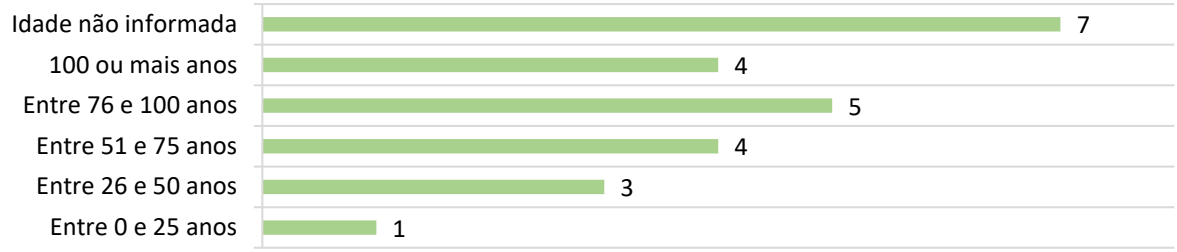
Figura 9: Número de casos *versus* Período de estudo



Fonte: as autoras.

O período de estudo é definido para o cálculo de ACV, sendo definido a partir de dados literários de pesquisa ou normativos [7]. Muitas vezes é considerado conforme a vida útil máxima dentre os elementos da edificação – conforme a NBR 15575-1 [8], a vida útil é definida como o período de tempo em que uma edificação e/ou seus sistemas apresentam adequado desempenho para as atividades para as quais foram projetados/construídos. O período de estudo das edificações para o cálculo de ACV nas publicações está representado na Figura 9, nota-se que a maioria dos casos (13 dos 24 documentos) considera períodos entre 50 e 60 anos [1], [3], [5]–[7], [12], [14], [16]–[18], [22], [24], [25].

Figura 10: Número de casos *versus* Idade das edificações em estudo

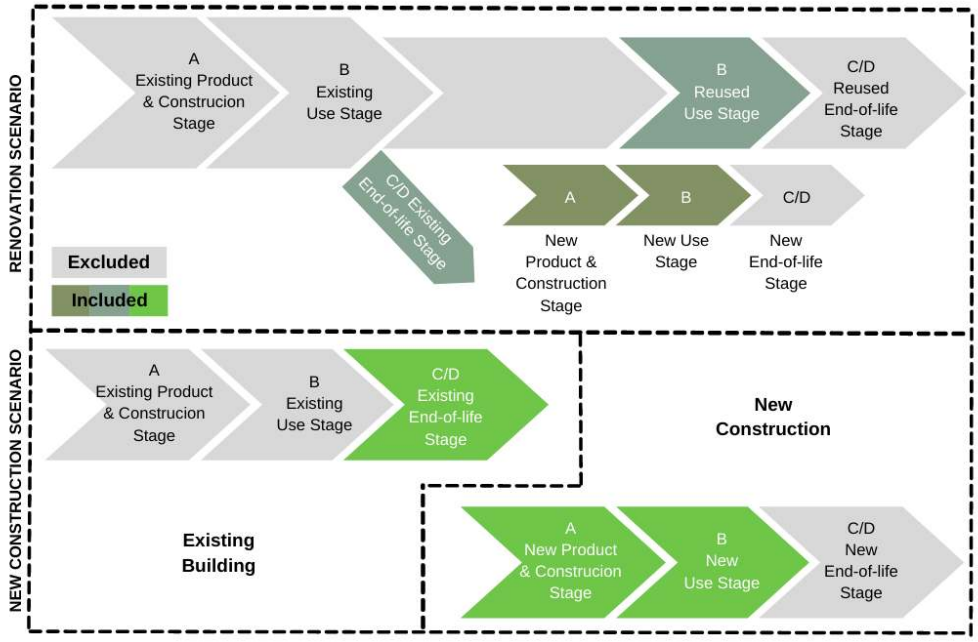


Fonte: as autoras.

O ano de construção das edificações em estudo varia entre 1700 e 2006 – vale ressaltar que em diversos documentos, as construções já passaram por vários processos de restauro e/ou manutenção. De acordo com a Figura 10, observa-se dois extremos: a edificação histórica (palácio em Lisboa, Portugal) de 321 anos [25] que já passou por diversas remodelações durante o seu ciclo de vida; e a construção de 2006 (15 anos) [28] que é parte de um programa de pesquisa em um bloco residencial de iniciativa municipal de Zaragoza, Espanha.

Conforme observado, para análise comparativa muitos autores delimitam as fronteiras do sistema criando cenários de análise diferentes. Como no estudo [19], em que os autores definem dois cenários: um cenário de renovação (*retrofit*) e outro para a nova construção, onde são determinados os critérios de corte, incluindo ou excluindo fatores – expresso pela Figura 11. Nota-se que em [19] os estudos avaliam as fases de produção e construção novas (A) e fases de uso e ocupação (B), assim como a fase de demolição / fim da vida (C/D) da etapa de renovação no Cenário (A) e demolição da antiga edificação no Cenário (B).

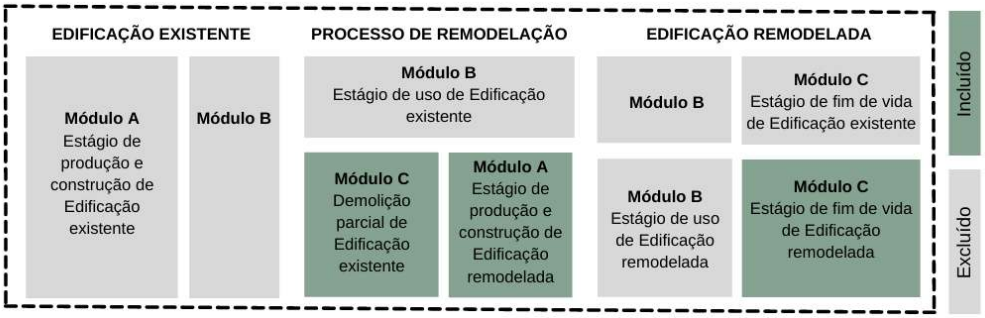
Figura 11: Cenários de análise e fronteiras do sistema



Fonte: adaptado de Hasik *et al.* [19].

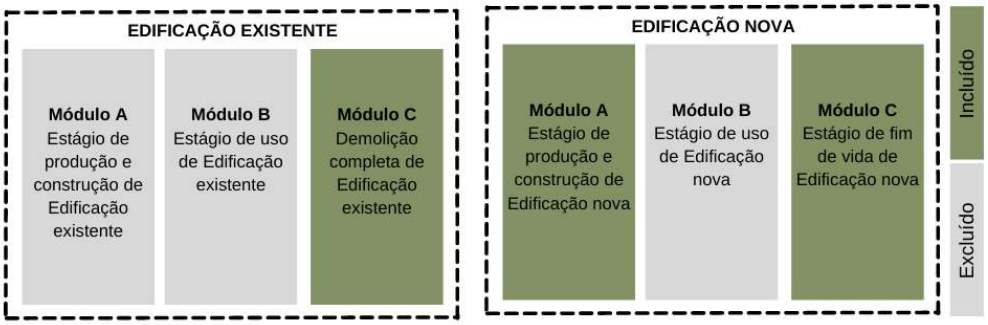
A mesma metodologia é aplicada em outros estudos, como o [21] onde são listadas todas fases da vida útil das construções apresentando a fronteira do sistema e as etapas quantificadas e analisadas na pesquisa. Observa-se semelhança entre esses dois estudos na forma de montagem dos cenários e análises, pois no caso [21] temos o corte das etapas de produção e construção (A) e uso e operação (B) anteriores ao estudo para retrofit, enquanto são contabilizados mesmos fatores para materiais novos utilizados na reforma e novos usos incorporados (Figura 12 e 13).

Figura 12: Comparação entre cenários de análise



Fonte: adaptado de Mileto *et al.* [21].

Figura 13: Etapas analisadas em cada cenário



Fonte: adaptado de Mileto *et al.* [21].

Dentre as metodologias de [19] e [21], há uma diferença na fronteira do sistema, sendo que em [21] os impactos ligados ao uso e operação (B) não são computados em ambos cenários (*retrofit* e construção nova). A exclusão deste estágio pode gerar certa imprecisão nos estudos conforme alguns autores defendem, esta fase é responsável por grande parte dos impactos ao longo da vida útil da edificação (Figura 13) – sendo uma das lacunas quanto à uma metodologia para este tipo de estudo.

CONCLUSÕES

As edificações desempenham um papel fundamental na sustentabilidade e no desenvolvimento global durante todo seu ciclo de vida, incluindo o *retrofit* dessas construções. A partir das contribuições da revisão sistemática surgem duas perspectivas relevantes ao tema: (i) o aproveitamento de edificações existentes e (ii) a implementação de estratégias para edifícios sustentáveis, que possibilitam um futuro viável e promissor para a construção civil.

Com base na revisão sistemática, o processo de *retrofit* representa uma alternativa para a resolução de questões práticas, como a obsolescência e os impactos do setor construtivo. O *retrofit* pode ser vislumbrado como o futuro de grandes áreas urbanas já construídas que precisarão de restaurações e revitalizações, apoiado pela possibilidade de redução dos impactos ambientais e de conservação cultural das construções.

A ferramenta ACV "do berço ao túmulo" para estudos de *retrofit* é uma das técnicas mais empregadas, sendo decisiva para a sustentabilidade nos quesitos de desempenho, durabilidade e manutenção de uma edificação. Entre as dificuldades para a aplicação da ACV estão a complexidade e heterogeneidade do estoque existente, o que reduz a representatividade dos estudos. Há lacunas para o desenvolvimento de estudos no âmbito nacional considerando as especificidades da realidade brasileira, além disso, a integração da avaliação dos custos e a contabilização da etapa de uso e operação proporcionam resultados mais completos.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura (PPGCI) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pelo suporte institucional no desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

[1] ATMACA, N.; ATMACA, A.; ÖZÇETIN, A. İ. **The impacts of restoration and reconstruction of a heritage building on life cycle energy consumption and related carbon dioxide emissions.** Energy and Buildings, v. 253, 15 dez. 2021.

[2] POMBO, O.; RIVELA, B.; NEILA, J. **The challenge of sustainable building renovation: Assessment of current criteria and future outlook. Journal of Cleaner ProductionElsevier Ltd,** 1 jun. 2016.

[3] RODRIGUES, C. et al. **Streamlined environmental and cost life-cycle approach for building thermal retrofits: A case of residential buildings in South European climates**. Journal of Cleaner Production, v. 172, p. 2625–2635, 20 jan. 2018.

[4] LANGSTON, C.; CHAN, E. H. W.; YUNG, E. H. K. **Hybrid input-output analysis of embodied carbon and construction cost differences between new-build and refurbished projects.** Sustainability (Switzerland), v. 10, n. 9, 10 set. 2018.

[5] BERG, F.; FUGLSETH, M. **Life cycle assessment and historic buildings:** Energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway. Journal of Architectural Conservation, v. 24, n. 2, p. 152–167, 4 maio 2018.

[6] FERREIRA, J.; DUARTE PINHEIRO, M.; DE BRITO, J. **Economic and environmental savings of structural buildings refurbishment with demolition and reconstruction - A Portuguese benchmarking.** Journal of Building Engineering, v. 3, p. 114–126, 25 jul. 2015.

[7] RODRIGUES, C.; FREIRE, F. **Integrated life-cycle assessment and thermal dynamic simulation of alternative scenarios for the roof retrofit of a house.** Building and Environment, v. 81, p. 204–215, 2014.
[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR NORMA BRASILEIRA** ICS Número de referência Edificações habitacionais-Desempenho Parte 1: Requisitos gerais Residential buildings-Performance Part 1: General requirements. [s.l: s.n.].
[9] VILCHES, A.; GARCIA-MARTINEZ, A.; SANCHEZ-MONTAÑES, B. **Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review.** Energy and Buildings Elsevier Ltd, 15 jan. 2017.
[10] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. TECHNICAL COMMITTEE B/558, S. OF CONSTRUCTION WORKS.; **BRITISH STANDARDS INSTITUTION; EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION.** Sustainability of construction works : assessment of environmental performance of buildings : calculation method. EN 15978 ed. [s.l: s.n.].
[11] PITTAU, F. et al. **Environmental consequences of refurbishment vs. demolition and reconstruction: A comparative life cycle assessment of an Italian case study.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Anais...Institute of Physics Publishing, 30 jul. 2019.
[12] WEILER, V.; HARTER, H.; EICKER, U. **Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment.** Energy and Buildings, v. 134, p. 319–328, 1 jan. 2017.
[13] MJÖRNELL, K. et al. **A tool to evaluate different renovation alternatives with regard to sustainability.** Sustainability (Switzerland), v. 6, n. 7, p. 4227–4245, 2014.
[14] ANGRISANO, M. et al. **The evaluation of historic building energy retrofit projects through the life cycle assessment.** Applied Sciences (Switzerland), v. 11, n. 15, 1 ago. 2021.
[15] ANTIPOVA, E. et al. **Multi-objective optimization coupled with life cycle assessment for retrofitting buildings.** Energy and Buildings, v. 82, p. 92–99, 2014.
[16] BELUCIO, M. et al. **Eco-efficiency in early design decisions: A multimethodology approach.** Journal of Cleaner Production, v. 283, 10 fev. 2021.
[17] CUI, W. et al. **Co-benefits analysis of buildings based on different renewal strategies: The emergy-lca approach.** International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 18, n. 2, p. 1–23, 2 jan. 2021.
[18] GALIMSHINA, A. et al. **Statistical method to identify robust building renovation choices for environmental and economic performance.** Building and Environment, v. 183, 1 out. 2020.
[19] HASIK, V. et al. **Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction.** Building and Environment, v. 161, 15 ago. 2019.
[20] MARIQUE, A. F.; ROSSI, B. **Cradle-to-grave life-cycle assessment within the built environment: Comparison between the refurbishment and the complete reconstruction of an office building in Belgium.** Journal of Environmental Management, v. 224, p. 396–405, 15 out. 2018

[21] MILETO, C. et al. **A sustainable approach for the refurbishment process of vernacular heritage: The sesga house case study (valencia, spain).** Sustainability (Switzerland), v. 13, n. 17, 1 set. 2021.
[22] MONTEIRO, H.; FREIRE, F. **Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods.** Energy and Buildings, v. 47, p. 572–583, abr. 2012.
[23] PALACIOS-MUNOZ, B. et al. **Sustainability assessment of refurbishment vs. new constructions by means of LCA and durability-based estimations of buildings lifespans: A new approach.** Building and Environment, v. 160, 1 ago. 2019.
[24] POMBO, O. et al. **Sustainability assessment of energy saving measures: A multi-criteria approach for residential buildings retrofitting - A case study of the Spanish housing stock.** Energy and Buildings, v. 116, p. 384–394, 15 mar. 2016.
[25] REZA, B.; SADIQ, R.; HEWAGE, K. **Emergy-based life cycle assessment (Em-LCA) of multi-unit and single-family residential buildings in Canada.** International Journal of Sustainable Built Environment, v. 3, n. 2, p. 207–224, 2014.
[26] STRUHALA, K.; OSTRÝ, M. **Life-cycle assessment of a rural terraced house: A struggle with sustainability of building renovations.** Energies, v. 14, n. 9, 1 maio 2021.
[27] PRABATHA, T. et al. **To retrofit or not? Making energy retrofit decisions through life cycle thinking for Canadian residences.** Energy and Buildings, v. 226, 1 nov. 2020.
[28] ZABALZA, I. et al. **Use of LCA as a tool for building ecodesign. A case study of a low energy building in Spain.** Energies, v. 6, n. 8, p. 3901–3921, 2013.
[29] ZIMMERMANN, R. K. et al. **LCA-Framework to evaluate circular economy strategies in existing buildings. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.** Anais...IOP Publishing Ltd, 20 nov. 2020.