XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8310

Retrofit, ACVe e Carbon Net-Zero: Uma Revisão Bibliométrica da Produção Científica Brasileira

Retrofit, Life Cycle Assessment (LCA) and Net-Zero Carbon: A Bibliometric Review of the Brazilian Scientific Production

Julia Ramos Fernandes
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | jrfernandes.egc@uesc.br
Cleomaria da Mata Macedo
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | cmmacedo.egc@uesc.br
Cleverson Alves de Lima
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | clalima@uesc.br
Igor Luiz dos Santos Rocha
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | ilsrocha.ppgeca@uesc.br
Raquel Rocha Cruz
Universidade Federal do Espirito Santo | Ilhéus | Brasil | raquel.r.cruz@edu.ufes.br

Resumo

A construção civil brasileira enfrenta o desafio de alinhar a modernização de edifícios às metas de descarbonização através do *retrofit*, Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVe) e preceitos *Carbon Net-Zero*. Este estudo objetiva mapear a produção científica brasileira sobre a integração desses três eixos por meio de uma revisão sistemática e bibliométrica (SciELO e Periódicos CAPES). Dos 232 documentos identificados, 21 compuseram o portfólio final. Os resultados mostram que, embora a preocupação com as emissões de gases estufa cresça, há uma lacuna significativa de pesquisas integrando simultaneamente o *retrofit*, a ACVe e as metas *Net-Zero*. Este mapeamento consolida o cenário acadêmico atual, embasando novas estratégias de eficiência energética para as edificações do país.

Palavras-chave: Retrofit. Avaliação do ciclo de vida energético. Descarbonização. Panorama brasileiro

Abstract

The Brazilian civil construction sector faces the challenge of aligning building modernization with decarbonization goals through retrofit, Life Cycle Energy Assessment (LCA), and Carbon Net-Zero principles. This study aims to map the Brazilian scientific production regarding the integration of these three axes through a systematic and bibliometric review (SciELO and Periódicos CAPES). Out of 232 identified documents, 21 composed the final portfolio. The results show that, although concern about greenhouse gas emissions is growing, there is a significant gap in research simultaneously integrating retrofit, LCA, and Net-Zero targets. This mapping consolidates the current academic landscape, supporting new energy efficiency strategies for buildings in the country.

Keywords: Retrofit. Life Cycle Energy Analysis. Decarbonization. Brazilian overview.

Como citar:
FERNANDES, J. R. et al. Retrofit, ACVe e Carbon Net-Zero: Uma Revisão Bibliométrica da Produção Científica Nacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21., 2026, Goiânia. Anais... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8310

INTRODUÇÃO

Atualmente, a busca por maior sustentabilidade tem levado a construção civil a procurar formas mais completas de medir o consumo de energia de um edifício. Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVe) surge como a principal ferramenta para entender o equilíbrio entre a energia operacional, usada durante o funcionamento do prédio, e a energia embutida, aquela gasta na produção de seus materiais [1]. Com o avanço tecnológico, a energia embutida (EE) passou a ter um peso maior, podendo representar até 25% do total em construções de alto desempenho, o que torna a análise do ciclo de vida essencial para o futuro das construções [2].

Diante disso, o *retrofit* aparece como uma estratégia eficaz para reduzir o consumo de energia em edifícios antigos. No entanto, para saber se uma reforma é realmente sustentável, é preciso calcular o seu *payback* energético, ou seja, o tempo necessário para que a economia de energia operacional iguale ou compense a EE gasta com os novos materiais da obra. Segundo Abd Alla *et al.* [3], esse cálculo muda completamente quando levamos em conta a energia embutida, mostrando que a escolha dos materiais é decisiva para garantir o real benefício sustentável da obra. Afinal, a redução da EE passa necessariamente pela otimização técnica de elementos estruturais e de fundação, exigindo que o uso de materiais de menor impacto não comprometa o desempenho e a durabilidade da edificação.

No Brasil o *retrofit* ganha destaque por ser uma alternativa mais sustentável do que a demolição e a construção de novos edifícios. Um estudo nacional realizado por Scolaro *et al.* [4] demonstrou que o *retrofit* de um edifício comercial pode reduzir em 39% a EE nos materiais quando comparado a uma obra nova. No entanto, para que essas análises sejam precisas na nossa realidade, é essencial utilizar bases de dados e métodos nacionais, como os desenvolvidos por Tavares [5], que estabeleceu os primeiros caminhos para o estudo do ciclo de vida energético no país.

Dentro desse cenário, os edifícios públicos têm um papel fundamental, pois podem servir de exemplo na aplicação de metas de *Carbon Net-Zero*, especialmente diante da crescente exigência de inventários de gases estufa e métricas de sustentabilidade para a aprovação de financiamentos no setor público brasileiro. Essa busca pela descarbonização requer neutralizar o balanço de emissões de gases de efeito estufa da edificação, fazendo se necessário conciliar o máximo de desempenho energético à incorporação de matrizes limpas.

Nesse sentido, Sartori, Napolitano e Voss [6] recomendam que essa geração ocorra preferencialmente no próprio local da edificação (*on-site*), como sistemas fotovoltaicos integrados à estrutura, que minimizam perdas de transmissão e conversão na rede elétrica. No entanto, quando as características da edificação e a área disponível limitam o suprimento local completo, estratégias externas (*off-site*), como a aquisição de eletricidade verde ou o investimento em usinas renováveis regionais, tornam-se alternativas complementares indispensáveis para consolidar o balanço líquido zero

Com base no que foi apresentado, percebe-se que as pesquisas frequentemente abordam as intervenções de eficiência de maneira isolada. Nesse cenário, este artigo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática e bibliométrica para mapear a produção científica brasileira sobre a convergência entre retrofit, ACVe e metas *Net-Zero*. Com isso, busca-se identificar as tendências atuais e as principais lacunas acadêmicas, servindo de base para o direcionamento de futuras estratégias de eficiência energética nacional.

METODOLOGIA

A pesquisa fundamenta-se em uma revisão sistemática e bibliométrica de caráter quanti-qualitativo, com o objetivo de identificar como os conceitos de descarbonização vêm sendo aplicados em intervenções de *retrofit* no contexto brasileiro. A coleta de dados baseou-se em oito palavras-chave consideradas centrais no campo da sustentabilidade aplicada à construção civil: "Retrofit", "Ciclo de Vida Energético", "*Carbon Net-Zero*", "Pegada de Carbono", "Payback energético", "GHG", "Lean Construction" e “Construção Industrializada”.

A estratégia de busca operou em três níveis de cruzamento: descritores isolados, combinações em pares e cruzamentos em trios (utilizando o operador booleano *AND*), nas bases SciELO e Periódicos CAPES, conforme esquematizado na Figura 1. Foram definidos dois critérios de inclusão para refinamento dos resultados: (i) filtro temporal, restringindo as publicações ao período entre 01/2020 e 02/2026, a fim de contemplar estudos alinhados às metas climáticas contemporâneas; e (ii) filtro nacional e de idioma, limitando-se a produções brasileiras redigidas em língua portuguesa, com o objetivo de avaliar especificamente o estágio da pesquisa científica no Brasil.

Figura 1 - Estrutura da estratégia de busca e cruzamento de palavras-chave.



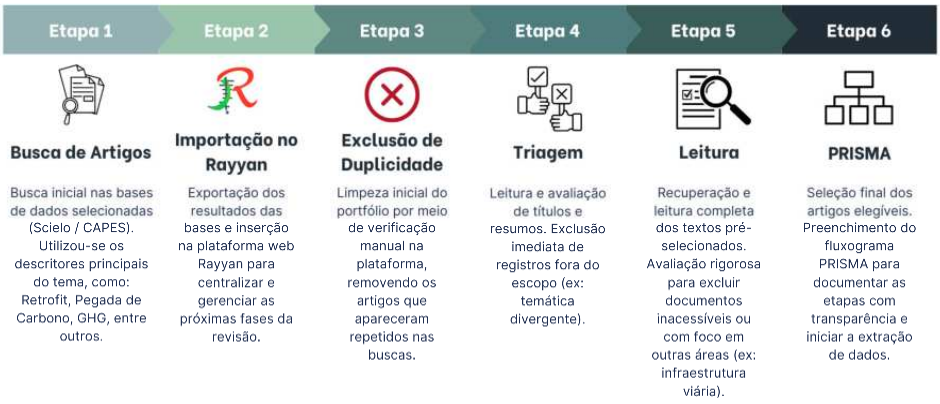
Fonte: os autores

Uma vez executadas as buscas, foram aplicados estes critérios, resultando em um montante de trabalhos que exigiram processamento estruturado e organizado para filtragem. Para isso, os resultados foram exportados das bases consultadas para a

plataforma *Rayyan* [7], que auxiliou na triagem dos títulos, resumos e revisões sistemáticas. A escolha dessa ferramenta justifica-se pela sua capacidade de otimizar significativamente o tempo na seleção de trabalhos, além de facilitar a colaboração entre os pesquisadores e permitir o rastreamento claro das decisões de inclusão e exclusão. Todo o processamento do portfólio bibliográfico, englobando a limpeza de registros duplicados e as fases de triagem foi centralizado nesta plataforma.

Para garantir a padronização e o rigor científico, todo o fluxo metodológico de seleção dos estudos foi sistematizado conforme as diretrizes do protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) [8][9]. O uso integrado da plataforma de triagem com esse protocolo assegura a transparência, a rastreabilidade e a reprodutibilidade do processo de revisão. O detalhamento contendo todas as etapas de identificação, triagem e seleção adotadas neste estudo encontra-se na Figura 2.

Figura 2 - Etapas de identificação, triagem e seleção dos artigos da revisão sistemática e bibliométrica utilizando o Rayyan



Fonte: os autores

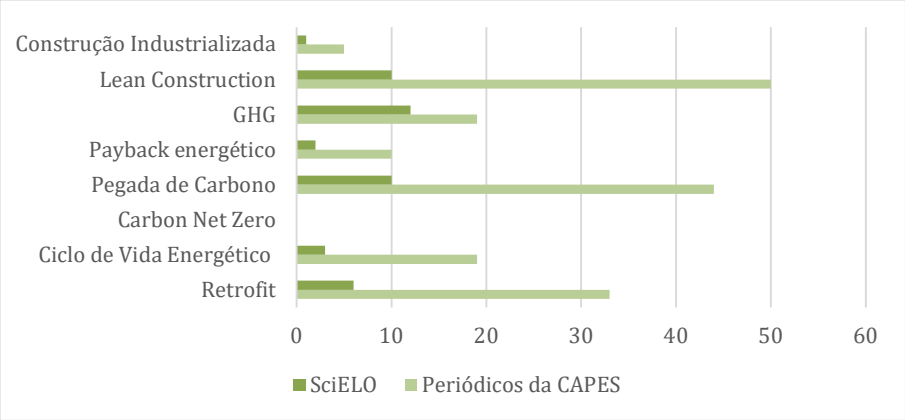
Para delimitar esse escopo, a busca restringiu-se a produções nacionais redigidas em língua portuguesa. Embora se reconheça que parcela expressiva da pesquisa científica brasileira seja publicada em periódicos e eventos internacionais em língua inglesa, o recorte visou mapear especificamente o estágio do debate no meio nacional. Adicionalmente, foi priorizado a busca por "*Carbon Net-Zero*" devido à sua consolidação técnica. A não inclusão de termos traduzidos como "carbono neutro" ou "edifícios carbono zero" foi influenciado a ausência de retornos específicos para essa palavra-chave isolada nas bases consultadas.

RESULTADOS

A pesquisa inicial nas bases de dados resultou na identificação de 232 documentos potenciais. Para compreender a maturidade dos temas, os resultados brutos foram estratificados conforme a estratégia de busca. A Figura 3 apresenta um gráfico com o volume de publicações retornadas pelos descritores isolados (Nível 1).

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8310

Figura 3 - Quantitativo de documentos recuperados por palavra-chave isolada



Fonte: os autores

Observa-se que termos consolidados, como "*Lean Construction*", "Pegada de Carbono" e "*Retrofit*", concentraram o maior número de retornos, evidenciando sua forte presença na literatura nacional. Em contrapartida, destaca-se a ausência total de resultados para o termo isolado "*Carbon Net-Zero*", o que indica que o uso desse conceito ainda é raro no Brasil.

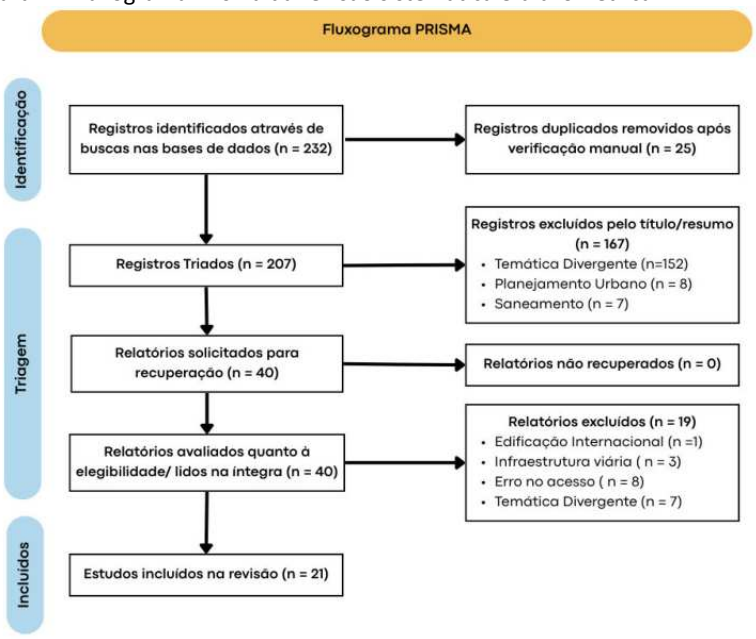
Na etapa seguinte, a busca combinada em pares (Nível 2) demonstrou uma queda drástica na quantidade de publicações, evidenciando a falta de inter-relação sistêmica entre os temas na literatura nacional. Dentre todas as combinações possíveis, apenas três retornaram documentos potenciais: a interseção entre "Ciclo de vida energético" e "Pegada de carbono" com 3 resultados, "*Lean Construction*" e "Construção industrializada" com 1 estudo e a união entre "Pegada de Carbono" e "GHG" com 3 estudos. O refinamento máximo, através do cruzamento em trios (Nível 3), acentuou este afunilamento ao retornar um único artigo, proveniente da combinação entre "Ciclo de vida energético", "Pegada de carbono" e "GHG". Este cenário quantitativo rigoroso comprova a premissa central deste artigo: a integração simultânea entre *retrofit*, avaliação energética e metas de descarbonização continua a ser uma expressiva lacuna científica a ser explorada [10][11].

Uma vez estabelecido esse panorama quantitativo, a pesquisa avançou para a etapa de triagem. Para garantir o rigor na seleção dos estudos que de fato se alinhavam ao escopo da investigação, os 232 documentos identificados inicialmente foram exportados para a plataforma *Rayyan* em que se procedeu à verificação manual e remoção de 25 registros duplicados. Na sequência, a fase de triagem avaliou 207 artigos por meio da leitura minuciosa de títulos e resumos, o que resultou na exclusão de 167 trabalhos por não se enquadrarem no âmbito da investigação.

Consequentemente, 40 artigos foram selecionados para a leitura integral e avaliação de elegibilidade. Deste conjunto, excluíram-se 19 relatórios devido a fatores como erro de acesso ao documento, o foco exclusivo em infraestruturas viárias, edificações no cenário internacional ou temática divergente do objetivo central. O fluxo metodológico finalizou em um portfólio final de 21 estudos incluídos para as análises bibliométrica e qualitativa, processo este que se encontra sistematizado na Figura 4.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8310

Figura 4 - Fluxograma Prisma da revisão sistemática e bibliométrica



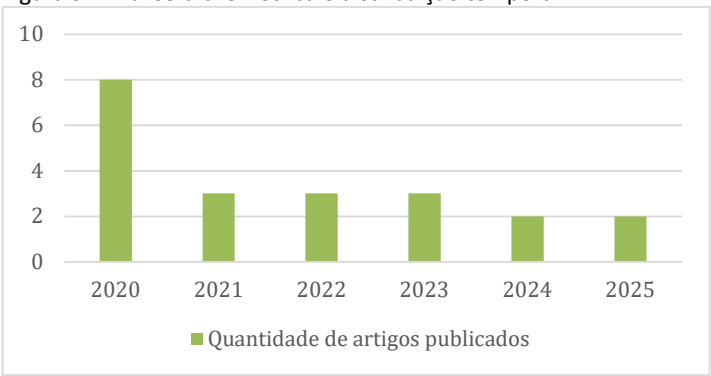
Fonte: os autores

DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL

A análise da distribuição temporal das publicações incluídas evidencia como o tema tem sido abordado recentemente no panorama científico nacional. Conforme ilustrado na Figura 5, observou-se que o ano de 2020 concentrou o maior volume de produção do recorte temporal, contabilizando 8 artigos publicados. A descrição detalhada encontra-se na Tabela 1.

Nos anos subsequentes, correspondentes ao período entre 2021 e 2023, verificou-se uma estabilização da produção científica, com o registro de 3 publicações anuais. Mais recentemente, os anos de 2024 e 2025 apresentaram 2 publicações cada, indicando a manutenção do interesse na temática, ainda que com um volume quantitativo ligeiramente inferior ao pico inicial. Esta constância demonstra que a integração entre *retrofit*, descarbonização e eficiência energética deixou de ser um pico isolado de publicações para se estabelecer de forma contínua e relevante na agenda de pesquisa da construção civil brasileira.

Figura 5 - Análise bibliométrica e distribuição temporal



Fonte: os autores

A concentração de publicações observada no ano de 2020 reflete um momento de forte mobilização internacional em torno das agendas climáticas. Esse período coincidiu com marcos globais significativos, como a entrada em vigor das primeiras metas práticas do Acordo de Paris e diretrizes europeias de eficiência energética, como a *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD). Esses incentivos internacionais impulsionaram o interesse da comunidade científica brasileira em avaliar o impacto ambiental de intervenções em edificações. Por sua vez, a redução subsequente e a estabilização verificadas entre 2021 e 2025 sugerem que, após o impacto inicial, a temática deixou de ser um interesse episódico para se consolidar como uma linha de pesquisa estruturada na agenda da construção civil nacional.

FOCO TEMÁTICO E FERRAMENTAS APLICADAS

A avaliação qualitativa dos 21 estudos selecionados demonstrou uma forte intersecção entre o *retrofit* energético, a integração de ferramentas tecnológicas avançadas e a procura contínua por metas de descarbonização em edificações existentes. Identificou-se uma prevalência expressiva de pesquisas aplicadas em edifícios públicos e instituições de ensino. Essa concentração reflete, além do expressivo e contínuo consumo energético dessas estruturas [12], uma viabilidade prática relacionada à transparência e à facilidade de cooperação institucional para a obtenção de dados técnicos junto à comunidade científica. Sob a ótica regulatória, o patrimônio público costuma figurar como o estágio inicial para a introdução compulsória de políticas nacionais de eficiência energética e metas ambientais. Desse modo, ao absorverem pioneiramente as fases experimentais e consolidarem a viabilidade de intervenções complexas de *retrofit*, essas edificações passam a operar como indutores de mercado e vitrines tecnológicas, fornecendo o respaldo técnico necessário para mitigar riscos e balizar a posterior expansão dessas diretrizes para o segmento privado.

O portfólio analisado revela também, em detalhes, as principais metodologias e ferramentas computacionais empregadas para viabilizar a Avaliação do Ciclo de Vida e os cálculos de eficiência. Nesse cenário, o BIM assumiu uma posição de destaque incontestável, não apenas na modelagem tridimensional, mas sobretudo na automatização da extração de dados construtivos e na facilitação da análise multicritério para a tomada de decisão. Em paralelo à modelagem, nota-se a aplicação frequente de simuladores energéticos atuando em conjunto com inventários focados no cálculo da pegada de carbono e na quantificação da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Para essa etapa de quantificação, os estudos dão ênfase especial às diretrizes e ferramentas de cálculo do programa brasileiro *GHG Protocol*, que auxiliam no estabelecimento de linhas de base confiáveis.

Por fim, constatou-se a presença de estudos que aplicam preceitos da *Lean Construction*, fortemente orientados à mitigação de desperdícios ao longo da cadeia de suprimentos e nas frentes de obra. A análise desse panorama demonstra que a pesquisa científica brasileira alcançou um nível expressivo no emprego de metodologias como o BIM, simuladores operacionais e inventários de emissões como o *GHG Protocol* . No entanto, o principal problema reside na fragmentação dessas frentes e na escassez de dados normatizados. Como as investigações ainda tendem a

tratar o *retrofit* e a Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVe) de maneira compartimentada, cria-se uma lacuna em análises verdadeiramente sistêmicas. Superar essas barreiras é fundamental para que os estudos deixem de ser apenas revisões isoladas e passem a propor soluções integradas, viabilizando o alcance das metas *Carbon Net-Zero* no país, especialmente em edifícios públicos.

CONCLUSÃO

A presente revisão sistemática e bibliométrica evidenciou que, embora o interesse científico sobre descarbonização e eficiência energética na construção civil brasileira seja contínuo, a abordagem do tema ainda se encontra fragmentada. Observou-se um uso consolidado de ferramentas tecnológicas, como o BIM e simuladores energéticos, além da aplicação de inventários de emissões (como o *GHG Protocol*) e de preceitos da *Lean Construction*. No entanto, a análise do portfólio revelou uma notável escassez de estudos que adotem uma visão sistêmica. A lacuna científica torna-se evidente na ausência de metodologias que integrem, de forma unificada, as intervenções de *retrofit* à Avaliação do Ciclo de Vida Energético e às diretrizes *Carbon Net-Zero*, especialmente no contexto de edificações públicas.

Conclui-se, portanto, que o avanço da agenda climática no setor requer a superação dessas análises isoladas. Edifícios públicos possuem um enorme potencial para atuar como projetos-piloto de descarbonização, justificando a necessidade de pesquisas aplicadas que unam a melhoria do desempenho operacional à redução da energia embutida nos materiais. Diante dessa lacuna, torna-se essencial o desenvolvimento de estudos focados na aplicação prática do *retrofit* em edifícios públicos, utilizando a ACVe como base para alcançar o padrão *Carbon Net-Zero*. Essa integração fornecerá métricas concretas e indispensáveis para impulsionar a transição energética do parque construído no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) pela oportunidade e pelo suporte oferecido ao longo desta trajetória. Expressamos também minha gratidão à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPP) e ao departamento, cujo apoio e incentivo contínuo à pesquisa tornaram possível a realização deste trabalho.

DECLARAÇÃO

Os Autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] TAVARES, S. F. A metodologia de avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) aplicada à otimização de edificações. 2006. 248 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

[2] RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 42, n. 10, p. 1592-1600, 2010.

[3] KARIMPOUR, M.; BELUSKO, M.; XING, K.; BRUNO, F. Minimising the life cycle energy of buildings: Review and analysis. **Building and Environment**, [s. l.], v. 73, p. 106-114, 2014.

[4] ABD ALLA, S.; BIANCO, V.; DEFIDI, D.; SCARPA, F.; TAGLIAFICO, L. A. A comprehensive review of the building energy retrofit methodology: Structure, calculation tools and applications. Energy, v. 192, p. 116738, 2020.

[5] SCOLARO, T. P.; TEIXEIRA, A.; GHISI, E.; TAVARES, S. F. Energia embutida: Análise dos impactos do retrofit de um edifício comercial no ciclo de vida energético. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-12.

[6] SARTORI, I.; NAPOLITANO, A.; VOSS, K. Net zero energy buildings: A consistent definition framework. **Energy and Buildings**, v. 48, p. 220-232, 2012.

[7] OUZZANI, M.; HAMMADY, H.; FEDOROWICZ, Z.; ELMAGARMID, A. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, v. 5, n. 1, p. 210, 2016.

[8] MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Annals of Internal Medicine**, v. 151, n. 4, p. 264-269, 2009.

[9] CARNEIRO, L. da C.; SANTOS, R. P.; FREJ, E. A.; BORJA, E. E. P. Integração do BIM com a Avaliação de Ciclo de Vida: revisão sistemática da literatura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 12., 2021, Maceió. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1-8.

[10] LUKA, C. de L.; CARNEIRO, L. da C.; BORJA, E. E. P. Análise das estratégias de avaliação do ciclo de vida e eficiência energética em habitação social: uma revisão sistemática. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-13.

[11] MOREIRA, R. de O.; CARVALHO, C. E. P. de; CARVALHO, A. P. de. Aplicação de retrofit sustentável em edificação educacional com a utilização de BIM. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 8, n. 2, p. 44-55, 2023.

[12] BIASI, V. C.; GHISI, E.; LIRA, L. M. de M. Avaliação integrada ambiental e econômica da etapa de manutenções em edifício educacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-13.