

ANÁLISE SISTEMÁTICA DA CONEXÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES COMERCIAIS COM OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

SYSTEMATIC ANALYSIS OF THE CONNECTION BETWEEN ENERGY EFFICIENCY IN COMMERCIAL BUILDINGS AND THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS AND CLIMATE CHANGE

Data de aceite: 04/07/2023 | Data de submissão: 20/05/2023

REBELATTO, Bianca, Me. Engenharia Civil e Ambiental

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, E-mail:

biancagrebelatto@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5845-1651>.

SALVIA, Amanda, Dra. Engenharia Civil e Ambiental

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, E-mail:

amandasalvia@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4549-7685>.

BUENO, Pietra, Engenheira Ambiental e de Segurança do Trabalho

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, E-mail:

pietrataize@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8758-8270>.

BRANDLI, Luciana, PHD em Engenharia Civil e Ambiental

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, E-mail: brandli@upf.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0763-7149>.

RODRIGUES, Gabriela, estudante de Ciências Biológicas

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, E-mail:

gabiirodrigues14@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9196-271X>

RESUMO:

Os edifícios têm um enorme papel no aumento do consumo de energia e nas emissões de CO₂. As edificações também são importantes para a transição da sociedade para uma economia de baixo carbono, com maior eficiência energética e menores impactos ambientais. Esta pesquisa teve como objetivo identificar por meio de uma revisão sistemática da literatura estudos relevantes existentes sobre o tema eficiência energética em edifícios comerciais e analisar sua conexão com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e as Mudanças Climáticas. As bases de dados Web of Science e Scopus foram utilizadas com critérios de busca específicos e resultaram em 227 artigos publicados na última década. Esta pesquisa ilustra uma abordagem abrangente relacionada ao panorama da relação entre artigos com os ODS e as mudanças climáticas. Além disso, a discussão da revisão da literatura destaca exemplos que mostram benefícios e barreiras para a implementação da eficiência energética em edifícios comerciais, mostrando suas características relevantes.

PALAVRAS-CHAVE:

Eficiência energética. Edificações comerciais. ODS. Mudanças climáticas.

ABSTRACT:

Buildings have a huge role in the increase of energy consumption and in the energy-related CO₂ emissions. Buildings are also important to the society's transition to a low-carbon economy, with increased energy efficiency and lower environmental impacts. This research aimed to identify through a systematic review of the literature relevant existing studies on the theme of energy efficiency in commercial buildings and analyze their connection with Sustainable Development Goals (SDG) and Climate Mitigation. The databases Web of Science and Scopus were used with specific search criteria and resulted in 227 articles published in the last decade. This research illustrates a comprehensive approach related to the panorama of the relation between articles and SDGs and climate mitigation. In addition, the discussion of the literature review highlights examples with benefits and barriers for the implementation of energy efficiency in commercial buildings, showing its relevant features.

KEYWORDS:

Energy efficiency. Commercial buildings. SDG. Climate change.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção é um componente vital para o crescimento econômico de países em desenvolvimento e desenvolvidos. De acordo com Dixit (2017), aproximadamente 48% do consumo de energia global é atribuído à construção e operação de edifícios. A energia é consumida em todas as etapas do ciclo de vida dos materiais de construção, desde a extração das matérias-primas até a fabricação, transporte, instalação, manutenção, demolição e reciclagem no final da vida útil do edifício (Huberman e Pearlmutter, 2008).

Entretanto, a utilização de materiais de construção locais, verdes, ecológicos, alternativos, energeticamente eficientes, duráveis e de baixo consumo de energia pode reduzir o consumo de energia nos edifícios e melhorar a eficiência energética geral, o que contribui para alcançar as 169 metas dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos em 2015 pela Agenda 2030. A sustentabilidade energética é um objetivo fundamental a ser atingido, que está diretamente ligado aos ODS 7, 9 e 13. O sétimo ODS visa assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e acessível à energia para todos, incentivando a diversificação da matriz energética por meio de fontes alternativas, renováveis e limpas. O nono ODS dedica-se à "Indústria, inovação e infraestrutura", promovendo a construção de infraestruturas resilientes que possam impulsionar uma industrialização inclusiva e sustentável, estimulando a inovação. O ODS 13, por sua vez, enfoca a ação climática, buscando adotar medidas urgentes para combater as mudanças

climáticas e seus efeitos globais. Devido à ampla gama de metas estabelecidas pela Agenda 2030, formuladores de políticas e líderes comunitários em nível regional e local precisarão avaliar facilmente as implicações econômicas, sociais e ambientais de suas estratégias, de forma integrada a médio e longo prazo.

Segundo o último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), a construção de edifícios é fundamental para a transição para uma economia de baixo carbono e focada em eficiência energética. A categoria de construção conhecida como *Zero Energy Buildings* (ZEB) é composta por edifícios que geram energia renovável suficiente para compensar suas emissões de gases de efeito estufa durante toda a sua vida útil (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2022). Para obter essa qualificação, é necessário levar em consideração fatores como projeto, materiais, sistemas de aquecimento, refrigeração, iluminação e eletrodomésticos (ALTAN *et al.*, 2013), não apenas na fase de projeto, mas também durante a construção e operação do edifício. De acordo com a Agência Internacional de Energia (2021), os edifícios são responsáveis por 37% das emissões globais de CO₂ ao longo de seu ciclo de vida, destacando a necessidade de melhorar a intensidade energética dos edifícios e fazer a transição para fontes de energia com emissões zero para enfrentar as mudanças climáticas.

Ao adotar estratégias de conservação e eficiência energética, novas edificações têm o potencial de reduzir a demanda de energia em 50% em relação às tradicionais (ASHRAE, 2011) e ainda contribuir para diversos aspectos da sustentabilidade e dos ODS. Portanto, é essencial que as infraestruturas urbanas sejam planejadas tendo como base os pilares do desenvolvimento sustentável. Logo, a seguinte pesquisa teve como objetivo verificar estudos de implementações de eficiência energética em edificações comerciais a fim de estabelecer relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e as mudanças climáticas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A eficiência energética em edifícios comerciais é um tópico amplo que abrange diversos fatores, desde o comportamento dos ocupantes em relação ao consumo de energia até os componentes e materiais construtivos da própria edificação, incluindo seus sistemas de climatização, design e qualidade do ar interno. É importante considerar soluções tecnológicas inovadoras, como materiais e equipamentos de baixo consumo energético, e utilizar simulações, modelos, normas e certificações para garantir a eficiência energética da edificação.

Os resultados da análise da pesquisa na literatura sobre eficiência energética em edifícios comerciais mostram que a maioria dos artigos se concentra no consumo de energia, levando em consideração as práticas de eficiência energética e a influência do comportamento dos ocupantes. Isso se deve ao fato de que os edifícios são responsáveis por mais de um terço do consumo total de energia primária em todo o mundo (IEA, 2021). Adotar medidas de eficiência energética pode reduzir o consumo de energia em cerca de 20% nos edifícios, sem comprometer os serviços ou o conforto dos ocupantes (ALLOUHI *et al.*, 2015). Além disso, Gonzáles *et al.* (2011) afirmam que tecnologias emergentes poderiam gerar uma economia de energia média de 36% (variando de 23% a 60%) em edifícios comerciais.

Para a construção de novos edifícios, é fundamental seguir as etapas de planejamento, projeto, construção e comissionamento. Por outro lado, no caso de edifícios já existentes, é preciso avaliar o desempenho energético inicial, realizando a identificação e diagnóstico de falhas, retro comissionamento, medição e verificação, e, a partir daí, decidir sobre ações de atualização. No entanto, é um desafio avaliar o desempenho energético inicial de edifícios devido à diversidade do parque imobiliário (como o tipo de edifício, zonas climáticas e tempo de construção), diferentes configurações (por exemplo, tipos de serviços, operações do sistema e estratégias de controle) e variáveis externas (como condições climáticas e comportamentos dos ocupantes) (LI *et al.*, 2021).

Segundo Seeley e Dhakal (2021), há esforços significativos em todo o mundo para desenvolver e implementar programas de *retrofit* de eficiência energética em edifícios, como a C40 e a Iniciativa Climática Clinton da Fundação Clinton. No entanto, ainda existem múltiplas e persistentes barreiras nos níveis de projeto e sistema, que limitam o potencial desses programas. Além disso, o maior desafio na implementação de projetos de *retrofit* de eficiência energética é a dificuldade em identificar as melhores soluções para um projeto específico, devido à falta de compreensão das relações e sinergias entre medidas de eficiência energética, custo e conforto (Jakob 2007). Os resultados de Sherman *et al.* (2021) mostram que, em pequenos edifícios comerciais, a economia de custos de energia é o critério de decisão mais comum citado, destacando a importância de argumentos convincentes e confiáveis na redução dos custos de energia para vender *retrofits* de energia. Por outro lado, Salem *et al.* (2020) afirmam que um *retrofit* completo do edifício é o melhor caminho para alcançar o padrão "edifícios de energia quase zero" (nZEB). Priorizar um aspecto do *retrofit* em detrimento de outro leva a um *retrofit* "incompleto" que não reduz a demanda de energia do edifício ou melhora a eficiência energética geral dos sistemas e componentes.

As diferenças climáticas, locais e outros fatores contextuais têm impulsionado a proliferação global de ferramentas de avaliação de edifícios. No entanto, o desafio tem sido desenvolver um modelo universalmente aceitável que possa ser usado como uma estrutura para gerenciar o desempenho da energia de uma edificação (MAFIMISEBI *et al.* 2020).

A área de simulação e desenvolvimento de modelos para melhorar a eficiência energética está em crescimento. De acordo com Melo *et al.* (2012), o processo de etiquetagem de edifícios depende de diferentes níveis de simulação computacional de desempenho em muitos países. Alguns regulamentos utilizam programas de simulação energética de edifícios (BES) devido à avaliação energética detalhada e às opções disponíveis. Wang *et al.* (2018) ilustra diferentes métodos para agregar métricas de economia de energia e aumento de eficiência utilizando novos modelos, uma vez que as técnicas de avaliação e benchmark de desempenho energético de edifícios evoluíram.

Nos últimos anos, houve avanços significativos na eficiência energética das envoltórias de edifícios (paredes, telhados e fundações) devido ao desenvolvimento de materiais de engenharia avançados e à melhoria das especificações de projeto (LI

et al., 2018). Além disso, Pacheco-Torgal (2017) destaca a importância das inovações nano e biotecnológicas no ambiente construído com eficiência energética. Um novo método de análise que pode ser mencionado é a implementação de sistemas de energia distribuída (SED), que têm um grande valor na abordagem de questões energéticas em escala local (ACHA *et al.*, 2018).

Também é importante notar que a colaboração entre diferentes partes interessadas, incluindo proprietários, desenvolvedores, designers, construtores, fornecedores e pesquisadores, é fundamental para o sucesso de políticas e iniciativas de eficiência energética em edifícios (PARKINSON *et al.*, 2015). Além disso, a implementação de políticas de longo prazo que incentivem a adoção de tecnologias de eficiência energética em edifícios pode ter um impacto significativo na redução das emissões de gases de efeito estufa e na melhoria da sustentabilidade do setor de construção (GAO *et al.*, 2017).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Uma revisão sistemática foi realizada a fim de obter respostas ao objetivo proposto. Conforme indicado por Camarasa *et al.* (2019), uma revisão sistemática responde a um propósito claro e a uma questão de pesquisa baseada em uma abordagem de busca com critérios para incluir/excluir artigos e caracterizá-los (Camarasa *et al.*, 2019). Seguindo os passos sugeridos por Levy *et al.* (2022), a revisão sistemática começa com a busca dos artigos por meio de um banco de dados, seguida da triagem e filtragem dos artigos encontrados e, em seguida, avaliação dos mesmos quanto à elegibilidade, para assim proceder à análise dos dados e conclusões.

Portanto, para aprofundar o conhecimento sobre o tema abordado, esse estudo delineou como questão de pesquisa: “Qual é o estado da literatura científica internacional sobre o tema de eficiência energética em edifícios comerciais?”. Segundo Caiado *et al.* (2017), esta pesquisa pode ser descrita como exploratória e descritiva, envolvendo coleta de dados de duas fontes, e tem abordagem qualitativa, mapeando as principais áreas da análise de síntese temática. As bases de dados utilizadas para identificar as publicações mais relevantes sobre este tema específico foram *Scopus* e *Web of Science*, devido às extensas áreas que ambas cobrem.

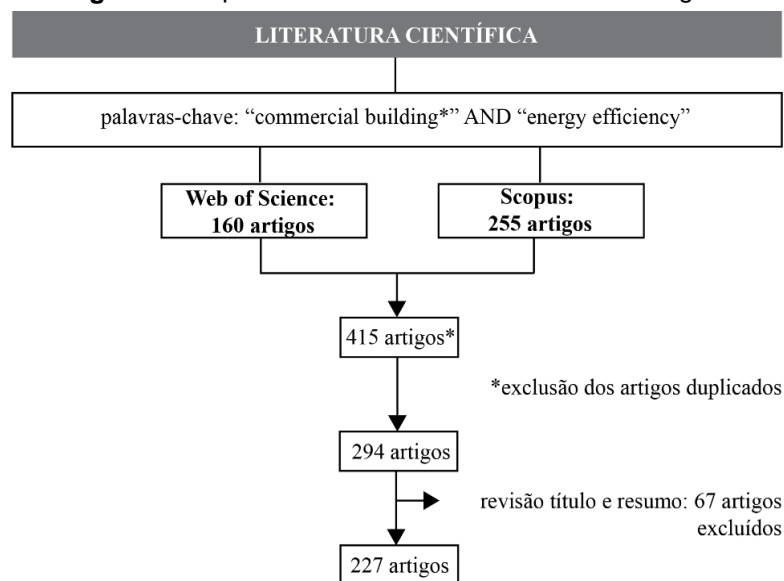
A combinação de palavras-chave utilizada para identificar os artigos nas bases de dados foi: (“*commercial building**” AND “*energy efficiency*”) aplicada ao título, resumo e palavras-chave. A busca foi limitada a alguns critérios de inclusão/exclusão, e a seleção centrou-se em artigos de acesso aberto em inglês, publicados entre os anos de 2012 a 2022, nas áreas de pesquisa de engenharia, energia, ciência ambiental, ciência da computação, ciências sociais, ciências da terra e planetárias.

Para a análise, os trabalhos duplicados (coletados em ambas as bases de dados) foram excluídos. Em seguida, foram verificados título e resumo, a fim de eliminar estudos não alinhados com o objetivo da pesquisa. Por fim, foi realizada uma análise do texto completo dos artigos do Portfólio Bibliográfico, para que cada artigo pudesse

ser analisado em termos da conexão do estudo com os ODS e as mudanças climáticas (Viegas et al., 2016).

O estudo iniciou com um banco de dados de 2.735 artigos (1.797 da *Scopus* e 938 da *Web of Science*). Aplicando os critérios de filtragem nas bases de dados (ano de publicação, idioma, tipos de documentos e áreas de busca), o número foi reduzido para 415 artigos (255 da *Scopus* e 160 da *Web of Science*). Excluindo os artigos duplicados, restaram 294 artigos. Após análise de título e resumo, e selecionando-se apenas artigos de estudo de caso (ou seja, implementação prática/análise de casos reais em edifícios comerciais), 88 artigos compuseram a amostra do Portfólio Bibliográfico. Esse processo é ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Mapeamento da busca sistemática de artigos.



Fonte: Autores (2023).

4. APLICAÇÕES E/OU RESULTADOS

Nesta etapa deve-se descrever as principais aplicações e/ou resultados que sustentam a análise da pesquisa. Os resultados devem ser apresentados de forma lógica, clara e objetiva. É de responsabilidade do autor fazer uso da ferramenta mais conveniente para apresentar seus resultados (gráficos, tabelas, figuras, etc.). A seguir constam alguns itens que devem ser observados durante esta fase:

Dos 88 artigos analisados, 27 artigos mencionaram a conexão de seu conteúdo com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Em relação às mudanças climáticas, 43 artigos mencionaram sua contribuição em relação ao tema. A Figura 2 apresenta a análise SWOT dos artigos e os principais pontos relevantes das discussões dos artigos sobre a temática estudada.

Nota-se que a maioria dos artigos com conexão com os ODS foram publicados a partir do ano 2017 e ao longo dos anos houve maior aprofundamento à temática e suas interrelações. Entre os anos de 2020 e 2021 houve maior adesão à temática estudada,

51,11% dos artigos utilizados neste estudo estão relacionados com a Agenda 2030 e/ou mudanças climáticas no intervalo de tempo de dois anos. Além disso, os resultados da análise dos artigos acima e suas conexões com a temática das mudanças climáticas, indicaram que apenas dois deles (4,44% não abordaram o tema de mudanças climáticas e a contribuição do estudo para a ação climática) os outros quarenta e três (95,56%) mencionaram ou abordaram o termo de forma geral. Em relação ao ODS 7, 60% dos artigos mencionaram-no direta ou indiretamente em suas discussões e conclusões. Contudo, quanto aos ODS 9 e 11, apenas um artigo relaciona de forma mais direta as metas relacionadas a estes objetivos. Observa-se que apesar da temática “Eficiência Energética” estar atrelada a mais de um dos ODS, o sétimo objetivo ainda é o mais representativo nas análises e menções nos trabalhos.

Figura 2: Análise SWOT dos Resultados do Levantamento.



Fonte: Autores (2023).

5. ANÁLISES DOS RESULTADOS OU DISCUSSÕES

As mudanças climáticas são consideradas um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade atualmente. Existe uma mobilização global para reduzir as emissões de gases de efeito estufa em todos os setores, e a construção é responsável por aproximadamente 40% do consumo de energia e um terço das emissões de gases de efeito estufa em todo o mundo. Portanto, é essencial que o setor da construção desempenhe um papel de liderança na luta contra o aquecimento global e as mudanças climáticas (ALAZZMEH E ASIF, 2021; LI et al., 2021; MAFIMISEBI et al., 2020). É importante destacar que a sustentabilidade a longo prazo dos edifícios, especialmente aqueles com fachadas de vidro, é fortemente influenciada pelos efeitos das alterações climáticas e pela disponibilidade de recursos (WU E FLEMMER, 2020).

Nos Estados Unidos, os edifícios comerciais são responsáveis por uma parcela significativa da emissão de dióxido de carbono (TOUZANI et al., 2018). Além disso, para combater os efeitos de longo prazo da urbanização e das mudanças climáticas, é fundamental que os edifícios, infraestrutura e espaços abertos sejam adequadamente preparados para enfrentar esses desafios (RAJAPAKSHA, 2019).

Com o objetivo de mitigar as alterações climáticas, é necessário implementar melhorias ambiciosas na intensidade energética dos edifícios, como os NZEB, em conjunto com a transição energética para a eletrificação livre de emissões (ZHONG et al, 2021; SHUJA et al, 2021). Para alcançar a neutralidade energética, é essencial maximizar o uso de energia renovável produzida localmente e atingir o nível ideal de desempenho energético em edifícios, o que requer previsões confiáveis da demanda de energia de curto prazo (com resolução inferior a um dia), de acordo com Walker *et al.* (2020). Mukhtar *et al.* (2021) destacam que, para contribuir para a reversão das mudanças climáticas, é importante projetar edifícios energeticamente eficientes considerando todas as fases, uma vez que a edificação afeta significativamente o consumo de energia, as emissões de carbono e a adaptação e resiliência ao clima (WANG *et al.*, 2019). Além disso, os edifícios com altos padrões de economia de energia não apenas consomem menos energia, mas também são menos sensíveis às mudanças climáticas, especialmente o aquecimento global. Portanto, o desenvolvimento de edifícios com alto padrão de economia de energia será benéfico para melhorar o conforto humano e reduzir as emissões de CO₂ (LI *et al.*, 2018).

De acordo com Alwan *et al.* (2021), o setor da construção civil está enfrentando a pressão de adotar medidas globais de sustentabilidade para atender aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). No entanto, um dos desafios que ainda existem é a limitação do uso do sistema BIM para melhorar a qualidade do design, aumentar a produtividade e permitir uma melhor colaboração. Na realidade, para alcançar as metas de sustentabilidade, o BIM também deve ser adotado como uma estrutura na análise da redução de energia e pode ser aplicado em diferentes etapas de projetos.

De acordo com Thyer *et al.* (2018), as análises de *retrofit* indicam que a adoção de medidas simples para tornar um modelo de negócio mais sustentável, como ações de *retrofit* em eficiência energética, pode resultar em impactos positivos na diminuição de gases do efeito estufa. Além disso, a adoção de sistemas combinados de geração de calor e energia (CHP), fotovoltaicos (PV) e refrigeradores de absorção (ABCs) em edifícios NZEB pode maximizar a eficiência energética elétrica e térmica, reutilizando o calor desperdiçado de sistemas CHP com ABCs e energia renovável de sistemas fotovoltaicos (Kim *et al.*, 2017). De fato, adotar uma abordagem integrada para *retrofits* de energia aumenta a eficiência energética, bem como a economia de carbono, e é fundamental para atingir as metas urgentes de ação climática. Segundo Sherman *et al.* (2021), essa abordagem tem o potencial de aumentar a taxa de *retrofit* para mais de 1%, o que é necessário para atender às metas de redução de energia e carbono. Reduzir o consumo de energia de aquecimento é um passo importante para atingir as metas de economia de energia e combater as mudanças climáticas, especialmente em áreas com frio severo (Song *et al.*, 2020).

O papel dos edifícios verdes e com rótulo ecológico na redução do risco de mudança climática é reforçado pela implementação de políticas e divulgações ambientais mais rigorosas, conforme destacado por Lee *et al.* (2022). O governo do Reino Unido é um exemplo de esforço governamental que estabelece requisitos mais rigorosos de eficiência energética para edifícios novos e existentes, com o objetivo de enfrentar a crise climática (AMIRKHANI *et al.*, 2020). Além disso, há diversas iniciativas de sustentabilidade comunitária em Cambridge, Massachusetts, como metas climáticas locais, distritos ecológicos e esforços para alcançar emissões líquidas zero, como mencionado por Meng *et al.* (2017). Já o governo municipal de Pequim tem incentivado amplamente o uso de energia limpa para substituir o consumo de carvão, conforme apontado por Liu *et al.* (2019). Tais ações são importantes para promover práticas mais sustentáveis na construção, reduzir o impacto ambiental dos edifícios e mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

Conforme os autores Carlson e Pressnail (2018), a mudança climática é amplamente percebida como uma questão importante pelo público canadense, com 91% da população preocupada com o aquecimento global e 89% apoiando ações imediatas para lidar com o problema. No entanto, a projeção para 2030 indica que o Canadá provavelmente não alcançará sua meta de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, mesmo no cenário mais otimista, que prevê uma redução de 6,7% em relação aos níveis de 2005. Enquanto isso, a Dinamarca está liderando o caminho na transição para uma economia de baixo carbono, com o plano nacional de energia dinamarquês estabelecendo a meta de que o setor de eletricidade e aquecimento seja 100% baseado em energia renovável até 2035 (CAI *et al.*, 2018). Mortazavigazar *et al.* (2021) destacam a Lei de Mudanças Climáticas de Victoria de 201, que tem como objetivo alcançar emissões líquidas zero de gases de efeito estufa até 2050, incluindo a transformação do setor de construção comercial para atender a pressão de uma população em rápido crescimento para aumentar as emissões. Além disso, em setembro de 2020, o governo chinês anunciou sua meta de atingir pico de emissão de CO₂ até 2030 e neutralidade de carbono até 2060, seguindo as metas estabelecidas pelo Acordo de Paris, com outros países também propondo metas semelhantes para reduzir as emissões de CO₂ (CHEN *et al.*, 2022).

6. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo focou na revisão sistemática da literatura sobre edifícios comerciais e eficiência energética, com objetivo de verificar como os estudos publicados vêm abordando os ODS e as mudanças climáticas.

A amostra de publicações analisadas evidencia a importância do tema das mudanças climáticas e aspectos relacionados, como economia de baixo carbono e a pressão internacional por limitar as emissões de gases de efeito estufa. De modo geral, os estudos analisados apontam a conexão dos estudos de caso aplicados com o apoio à ação climática, e principalmente com o potencial de redução de emissões. Além das ações de eficiência energética (abordados nos estudos de caso), os artigos também

dedicam atenção a outros aspectos importantes de mitigação da mudança do clima, como a utilização de energias renováveis.

Por outro lado, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são abordados em menor intensidade. Dos artigos que incluíram a conexão entre o estudo de caso e os ODS, a maioria focou no ODS 7 e suas metas. Há potencial para explorar mais a fundo a contribuição da eficiência energética em edificações comerciais com a Agenda 2030, e ao quanto os ODS estão atrelados diretamente com as transformações a longo prazo nos padrões de temperatura, clima e comportamento humano.

As edificações possuem um alto impacto nas emissões de carbono, por isso os edifícios precisam ser projetados com maior eficiência energética para diminuir seu consumo de energia, emissões de carbono e também sua adaptação e resiliência ao clima. Para as edificações já existentes, existem ações de *retrofit* que podem auxiliar na diminuição do consumo de energia da construção, assim como contribuir para combater as mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ACHA, S. Modelling distributed energy resources in energy services networks. **The Institution of Engineering and Technology**. 2013.

ALAZAZMEH, A.; ASIF, M. Commercial building retrofitting: Assessment of improvements in energy performance and indoor air quality. **Case Studies in Thermal Engineering**, V. 26. 2021.

ALLOUHI et al. Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. **Journal of Cleaner Production**, V. 109, pp. 118–130. 2015.

ALTAN et al. Using energy modeling for calculations of energy savings, payback and return on investment for a typical commercial office building with IBT systems. **Conference of International Building Performance Simulation Association**, V. 13, pp. 26–28. 2013.

ALWAN et al. Framework for parametric assessment of operational and embodied energy impacts utilizing BIM. **Journal of Building Engineering**, V. 42. 2021.

AMIRKHANI et al. Uncertainties in Non-Domestic Energy Performance Certificate Generating in the UK. **Sustainability**, V. 13. 2021.

ASHRAE HANDBOOK. **HVAC Applications**. SI Edition. 2011.

CAI et al. Demand side management in urban district heating networks. **Applied Energy**, V. 230, pp. 506-518. 2018.

CAIADO et al. Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency - A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, V. 165, pp. 890-904. 2017.

CAMARASA et al. Diffusion of energy efficiency technologies in European residential buildings: A bibliometric analysis. **Energy & Buildings**, V. 202. 2019.

CARLSON, K; PRESSNAIL, K. D. Value impacts of energy efficiency retrofits on commercial office buildings in Toronto. **Canada Energy and Buildings**, V. 162, pp. 154-162. 2018.

CHEN et al. Optimal Control Strategies for Demand Response in Buildings under Penetration of Renewable. **Energy Buildings**, V. 12, pp. 371. 2022.

DIXIT, M.K. Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: a review of literature to investigate embodied energy parameters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, V. 79, pp. 390–413. 2017.

GAO, L. et al. Application of the extended theory of planned behavior to understand individual's energy saving behavior in workplaces. **Resources, Conservation and Recycling**, V. 127, pp. 107-113. 2017.

GONZÁLEZ et al. Towards a universal energy efficiency index for buildings, **Energy Build**, V. 43, pp. 980–987. 2011.

HUBERMAN, N.; PEARLMUTTER, D. A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. **Energy and Buildings**, V. 40(5), pp. 837–848. 2008.

IEA - International Energy Agency. **Tracking Buildings**. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2021>.

JAKOB, M. The Trade-Offs and Synergies between Energy Efficiency, Costs, and Comfort in Office Buildings. **CISBAT**. 2007.

KIM et al. Evaluation of energy savings potential of variable refrigerant flow (VRF) from variable air volume (VAV) in the U.S. climate locations. **Energy Reports**, V. 3, pp. 85-93. 2017.

LEE, C. L.; GUMULYA, N.; BANGURA, M. The Role of Mandatory Building Efficiency Disclosure on Green Building Price Premium: Evidence from Australia Buildings. **Buildings**, V. 12. 2022.

LEVY, Y; ELLIS, T. J. Informing science journal a systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. **Informing Science Journal**. 2006.

LI et al. Numerical Thermal Characterization and Performance Metrics of Building Envelopes Containing Phase Change Materials for Energy-Efficient Buildings. **Sustainability**, V. 10. 2018.

LI et al. Optimizing energy efficiency and thermal comfort in building green retrofit. **Energy**, V. 237. 2021.

LIU et al. Developing a methodology for the ex-post assessment of Building Energy Efficiency Special Planning in Beijing during the 12th Five-Year Plan” period. **Journal of Cleaner Production**, V. 216, pp. 552-569. 2019.

MAFIMISEBI et al. Procedural tool for analyzing building energy performance: structural equation modeling protocol. **International Journal of Environmental Science and Technology**, V. 17, pp. 2875–2888. 2020.

MELO et al. Assessing the accuracy of a simplified building energy simulation model using BESTEST: the case study of Brazilian regulation. **Energy Build**, V. 45, pp. 219–228. 2012.

MENG, T; HSU, D; HAN, A. T. Estimating Energy Savings from Benchmarking Policies in New York City. Proceedings of the ICE. **Energy**, V. 133. 2017.

MORTAZAVIGAZAR et al. Application of Artificial Neural Networks for Virtual Energy Assessment. **Energies**, V. 14. 2021.

MUKHTAR et al. Building Retrofit and Energy Conservation/ Efficiency Review: A Techno-Environ- Economic Assessment of Heat Pump System Retrofit in Housing Stock. **Sustainability**, V. 13, pp. 983. 2021

PACHECO-TORGAL, F. High tech startup creation for energy efficient built environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, V. 71, pp. 618–629. 2017.

PAINEL INTERNACIONAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – IPCC. **Relatório especial**. 48a Sessão. Incheon, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>

PARKINSON et al. Nudging the adaptive thermal comfort model. **Energy and Buildings**, V. 206. 2020.

RAJAPAKSHA, U. Heat Stress Pattern in Conditioned Office Buildings with Shallow Plan Forms in Metropolitan Colombo. **Buildings**, V. 9, pp. 35. 2019.

SALEM et al. Energy performance and cost analysis for the nZEB retrofit of a typical UK hotel. **Journal of Building Engineering**, V. 31. 2020.

SEELEY, C.C; DHAKAL, S. Energy Efficiency Retrofits in Commercial Buildings: An Environmental, Financial, and Technical Analysis of Case Studies in Thailand. **Energies**, V. 14. 2021.

SHERMAN, R.; NAGANATHAN, H.; PARRISH, K. Energy Savings Results from Small Commercial Building Retrofits in the US. **Energies**, V. 14. 2021.

SHUJA, D; GARDEZI, S; IDREES, M. Prospects of Transforming Conventional Commercial Buildings to Net Zero Energy Building – Balancing the Economic Aspects with Energy Patterns. **Environmental and Climate Technologies**, V. 25(1) pp. 990-1002. 2021.

SONG et al. Impact of Urban Morphology and Climate on Heating Energy Consumption of Buildings in Severe Cold Regions. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, V. 17. 2020.

THYER et al. Optimizing energy use in an existing commercial building: a case study of Australia's Reef HQ Aquarium. **Energy Efficiency**, V. 11, pp.147–168. 2018.

TOUZANI, S; GRANDERSON, J; FERNANDES, S. Gradient boosting machine for modeling the energy consumption of commercial buildings. **Energy and Buildings**, V. 158, pp. 1533-1543. 2018.

US DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy efficiency and renewable energy**. Zero Energy Buildings. 2022. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/buildings/zero-energy-buildings>

VIEGAS et al. Critical attributes of Sustainability in Higher Education: a categorization. **Journal of Cleaner Production**. 2016.

WALKER et al. Accuracy of different machine learning algorithms and added-value of predicting aggregated-level energy performance of commercial buildings. **Energy & Buildings**. 2020.

WANG et al. Occupancy prediction through Markov based feedback recurrent neural network (M-FRNN) algorithm with WiFi probe technology. **Building and Environment**, V. 138, pp. 160-170. 2018.

WANG, W.; CHENA, J.; HONG, T. Modeling occupancy distribution in large spaces with multi-feature classification algorithm. **Building and Environment**, V. 137, pp. 108–117. 2018.

WU, Y; FLEMMER, C. Glass Curtain Wall Technology and Sustainability in Commercial Buildings in Auckland, New Zealand. **International Journal of Built Environment and Sustainability**, V. 7, pp. 57-65. 2020.

ZHONG et al. The evolution and future perspectives of energy intensity in the global building sector 1971 e 2060. **Journal of Cleaner Production**, V. 305. 2021.



ANEXO

Tabela 1: Artigos analisados e a conexão com os ODS e mudanças climáticas.

Título do artigo	Autor (ano)	ODS	Mudanças Climáticas
Reducing energy consumption and increasing filter life in HVAC systems using an aspiration efficiency reducer: Long-term performance assessment at full-scale	Morgan et al. (2017)	N/A	Presente
The case study of combined cooling heat and power and photovoltaic systems for building customers using HOMER software	Kim et al. (2017)	N/A	Presente
Optimizing energy use in an existing commercial building: a case study of Australia's Reef HQ Aquarium	Thyer et al. (2018)	N/A	Presente
Impact of Adding Comfort Cooling Systems on the Energy Consumption and EPC Rating of an Existing UK Hotel	Amirkhani et al. (2020)	N/A	Presente
Impact of Urban Morphology and Climate on Heating Energy Consumption of Buildings in Severe Cold Regions	Song et al. (2020)	N/A	Presente
Lifecycle cost analysis (LCCA) of tailor-made building integrated photovoltaics (BIPV) façade: Solsmaragden case study in Norway	Gholami et al. (2020)	N/A	Presente
Energy Efficiency Retrofits in Commercial Buildings: An Environmental, Financial, and Technical Analysis of Case Studies in Thailand	Seeley and Dhakal (2021)	N/A	Presente
Energy Savings Results from Small Commercial Building Retrofits in the US	Sherman et al. (2021)	N/A	Presente
Occupant-Centric key performance indicators to inform building design and operations	Li et al. (2021)	N/A	Presente
Energy performance analytics and behavior prediction during unforeseen circumstances of retrofitted buildings in the arid climate	AlFaris et al. (2021)	N/A	Presente
Commercial building retrofitting: Assessment of improvements in energy performance and indoor air quality	Alazazmeh and Asif (2021)	N/A	Presente
Building retrofit and energy conservation/efficiency review: A techno-environmental assessment of heat pump system retrofit in housing stock	Mukhtar et al. (2021)	N/A	Presente
Heat Stress Pattern in Conditioned Office Buildings with Shallow Plan Forms in Metropolitan Colombo	Rajapaksha (2019)	N/A	Presente

Título do artigo	Autor (ano)	ODS	Mudanças Climáticas
Improving building energy efficiency in India: State-level analysis of building energy efficiency policies	Sha Yu et al. (2017)	N/A	Presente
Comparing energy efficiency labeling systems in the EU and Brazil: Implications, challenges, barriers and opportunities.	Wong and Kruger (2017)	N/A	Presente
Estimating energy savings from benchmarking policies in New York City	Meng et al. (2017)	N/A	Presente
Wakala buildings of Mamluk era in Cairo, Egypt and how far they meet the rating criteria of LEED V4	Abdel-Aal and El-Sayary (2018)	N/A	Presente
Developing a methodology for the ex-post assessment of Building Energy Efficiency Special Planning in Beijing during the 12th Five-Year Plan ^o period	Liu et al. (2019)	N/A	Presente
Green Performance Evaluation System for Energy-Efficiency-Based Planning for Construction Site Layout	Wang et al. (2019)	N/A	Presente
A Nonintrusive Load Monitoring Method for Office Buildings Based on Random Forest	Ling et al. (2021)	N/A	Presente
Uncertainties in Non-Domestic Energy Performance Certificate Generating in the UK	Amirkhani et al. (2021)	N/A	Presente
The Role of Mandatory Building Efficiency Disclosure on Green Building Price Premium: Evidence from Australia	Lee et al. (2022)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
A model-based decision support tool for building portfolios under uncertainty	Boxer et al. (2017)	N/A	Presente
Investigating the potential impact of energy-efficient measures for retrofitting existing UK hotels to reach the nearly zero energy building (nZEB) standard	Salem et al. (2019)	N/A	Presente
Procedural tool for analysing building energy performance: structural equation modelling protocol	Mafimisebi et al. (2020)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
A data-driven modelling and analysis approach to test the resilience of green buildings to uncertainty in operation patterns	Alkaabi et al. (2020)	N/A	Presente
Gradient boosting machine for modeling the energy consumption of commercial buildings	Touzani et al. (2018)	N/A	Presente

Título do artigo	Autor (ano)	ODS	Mudanças Climáticas
The potential for cool roofs to improve the energy efficiency of single storey warehouse-type retail buildings in Australia: A simulation case study	Seifhashemi et al. (2018)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
Significant Implication of Optimal Capacitor Placement and Sizing for a Sustainable Electrical Operation in a Building	Razak et al. (2020)	N/A	Presente
Glass Curtain Wall Technology and Sustainability in Commercial Buildings in Auckland, New Zealand	Wu e Flemmer (2020)	N/A	Presente
Exploring the Critical Barriers to the Implementation of Renewable Technologies in Existing University Buildings	Fuentes-del-Burgo et al. (2021)	Alinhado com as metas do ODS 7, 9, 11	Presente
In-Depth Analysis of Energy Efficiency Related Factors in Commercial Buildings Using Data Cube and Association Rule Mining	Noh. B. et al. (2017)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
The role of psychology and social influences in energy efficiency adoption	Hanus, N. et al. (2018)	Alinhado com as metas do ODS 7	N/A
How Climate Change Impacts Energy Load Demand for Commercial and Residential Buildings in a Large City in Northern China	Li, M. et al. (2018)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
Value impacts of energy efficiency retrofits on commercial office buildings in Toronto, Canada	Carlson, K. and Pressnail, K.D. (2018)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
Techno-economic analysis of DC power distribution in commercial buildings	Vossos, V. et al. (2018)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
Demand side management in urban district heating networks	Cai et al. (2018)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
Quantifying the uncertain effects of climate change on building energy consumption across the United States	Fonseca J. et al. (2020)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente

Título do artigo	Autor (ano)	ODS	Mudanças Climáticas
Future western U.S. building electricity consumption in response to climate and population drivers: A comparative study of the impact of model structure	Burleyson C. et al (2020)	Alinhado com as metas do ODS 7	N/A
Accuracy of different machine learning algorithms and added-value of predicting aggregated-level energy performance of commercial buildings	Walker S. et al. (2020)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
The evolution and future perspectives of energy intensity in the global building sector 1971-2060	Zhong X. et al. (2021)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
Application of Artificial Neural Networks for Virtual Energy Assessment	Mortazavigar A., et al. (2021)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
Framework for parametric assessment of operational and embodied energy impacts utilizing BIM	Alwan Z. et al. (2021)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
Optimal Control Strategies for Demand Response in Buildings under Penetration of Renewable Energy	Chen Y. et al (2022)	Alinhado com as metas do ODS 7	Presente
Cooling energy savings and occupant feedback in a two year retrofit evaluation of 99 automated ceiling fans staged with air conditioning	Miller et al. (2021)	N/A	Presente

Fontes: Autores.