

# ESTRATÉGIAS E BARREIRAS PARA A DESCARBONIZAÇÃO DAS CIDADES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

## 1 INTRODUÇÃO

A intensificação das mudanças climáticas e o avanço da urbanização colocam as cidades no centro do debate sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e seus impactos. O crescimento populacional nos centros urbanos tende a ampliar significativamente o consumo de energia e de recursos naturais (CNI, 2024; FARIAS, 2021; JÚNIOR; COLLAÇO, 2023). Nesse contexto, as áreas urbanas, que concentram a maior parte da população mundial, enfrentam desafios complexos relacionados à infraestrutura, mobilidade e qualidade de vida. Tais desafios demandam soluções integradas capazes de conciliar desenvolvimento econômico, inclusão social e sustentabilidade ambiental.

Diversos estudos e iniciativas globais têm reforçado a urgência em reduzir as emissões do setor de transportes, repensar o uso do solo e ampliar o investimento em tecnologias limpas (ENEAS, 2024; JÚNIOR; COLLAÇO, 2023). Nesse cenário, emergem tendências como a eletromobilidade, a expansão de sistemas de transporte coletivo de baixa emissão e a adoção de práticas de Economia Circular (EC). Essas ações se articulam com a criação de políticas financeiras de incentivo à transição energética e com a necessidade de uma governança urbana orientada por planejamento integrado (VACCANI, 2024).

É nesse contexto que ganha relevância o conceito de descarbonização, entendido como o conjunto de medidas voltadas à redução progressiva da dependência de combustíveis fósseis e à mitigação das emissões de carbono em diferentes setores da economia (IPCC, 2022). A descarbonização vai além da simples substituição de matrizes energéticas, abrangendo transformações estruturais no modo de produzir, consumir e planejar as cidades. Alinhar políticas de transporte, uso do solo, eficiência energética e inovação tecnológica torna-se fundamental para viabilizar a transição justa e sustentável em direção a sociedades de baixo carbono.

As estratégias políticas e regulatórias, nesse sentido, assumem papel central ao funcionarem como instrumentos de orientação e estímulo para soluções de baixo carbono (FARIAS, 2021; WORLD BANK GROUP, 2023). Exemplos incluem a taxaço de combustíveis fósseis, subsídios para energias renováveis, metas obrigatórias de redução de emissões, integração de modais de transporte e políticas de uso do solo. Quando bem estruturadas, tais medidas aceleram a descarbonização urbana e fortalecem os esforços de mitigação das mudanças climáticas; porém, se mal implementadas, podem comprometer sua eficácia (JÚNIOR; COLLAÇO, 2023).

Considerando a relevância da temática, a questão de pesquisa que orienta este estudo é: quais estratégias têm sido discutidas na literatura internacional para promover a descarbonização das cidades? Para tal, o objetivo do trabalho consiste em sistematizar e analisar a produção científica existente sobre o tema, identificando as principais estratégias e barreiras apresentados nos estudos revisados. A partir dessa análise, busca-se oferecer recomendações que possam contribuir para o fortalecimento das ações de mitigação climática no contexto urbano, favorecendo a construção de cidades mais sustentáveis e de baixo carbono.

## 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi conduzida a partir de procedimentos adaptados do protocolo *PRISMA*, com abordagem qualitativa e descritiva (CRESWELL, 2014; PAGE et al., 2021) e critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. Foram selecionados artigos revisados por pares, publicados até 2024, em português, inglês ou espanhol, que tratassem de descarbonização

urbana, políticas públicas ambientais, regulação climática ou estratégias sustentáveis aplicadas a cidades. Consideraram-se estudos empíricos, teóricos, revisões sistemáticas e estudos de caso com aplicação prática, desde que o texto completo estivesse disponível. Foram excluídos trabalhos restritos a áreas rurais ou setores industriais, sem interface com políticas públicas, não científicos, duplicados, fora do escopo linguístico ou publicados antes de 2010, salvo quando configurassem marcos teóricos essenciais.

A base de dados utilizada foi a *Web of Science (WoS)*, acessada em 15 de abril de 2025. Após a aplicação dos filtros de seleção, foram recuperados 397 artigos, dos quais os 100 mais citados constituíram o corpus empírico da investigação. A estratégia de busca, realizada em inglês, empregou operadores booleanos (AND, OR, NOT) para combinar descritores relacionados à descarbonização urbana e políticas públicas, como “*Urban Decarbonization*”, “*Public Policies and Regulation*” e “*Sustainable Urban Planning*”.

A seleção exigiu que cada artigo atendesse a, no mínimo, dois critérios de inclusão, aplicando-se a mesma lógica para os de exclusão. A triagem e análise foram conduzidas por um único revisor, com apoio do *software StArt* (ZAMBONI et al., 2010). Na etapa de coleta, foram extraídas informações sobre título, autores, ano, país, tipo de estudo, temática/setor analisado, estratégias de descarbonização, políticas públicas, barreiras, contribuições e descrição das políticas identificadas. Os dados foram tabulados em planilhas do Microsoft Excel, com padronização de nomes, remoção de duplicatas e consolidação de termos semelhantes.

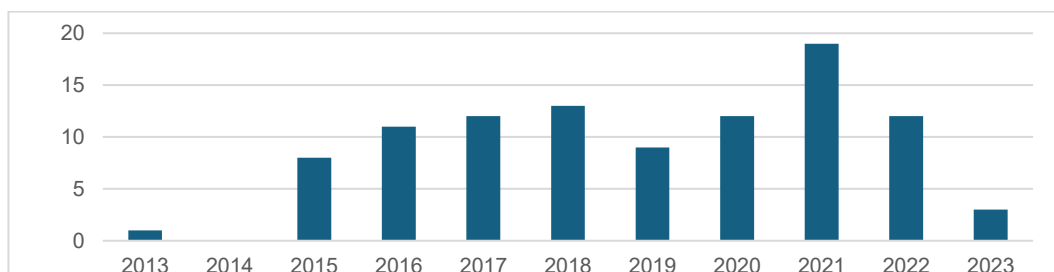
A análise combinou procedimentos bibliométricos e qualitativos, abrangendo distribuição temporal, geográfica e temática dos estudos, bem como estratégias, políticas e barreiras. Os resultados foram sintetizados em tabelas e gráficos elaborados no Excel, facilitando a visualização e interpretação.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Evolução temporal das publicações

A Figura 1 evidencia a variação no número de estudos publicados entre 2013 e 2023. Em 2013, foi registrada apenas uma publicação e, em 2014, nenhuma. A partir de 2015, observa-se crescimento gradual, com maior regularidade entre 2016 e 2021, período em que a produção se manteve estável, alcançando o pico em 2021, com 19 estudos. Em 2022 houve redução para 12 publicações, seguida de queda mais acentuada em 2023, com apenas três registros. No total, foram contabilizados 100 estudos no período, revelando inicialmente um interesse crescente sobre o tema, mas também uma possível mudança de foco ou redirecionamento das pesquisas nos anos mais recentes.

Figura 1 – Evolução temporal das publicações sobre descarbonização



Fonte: autores.

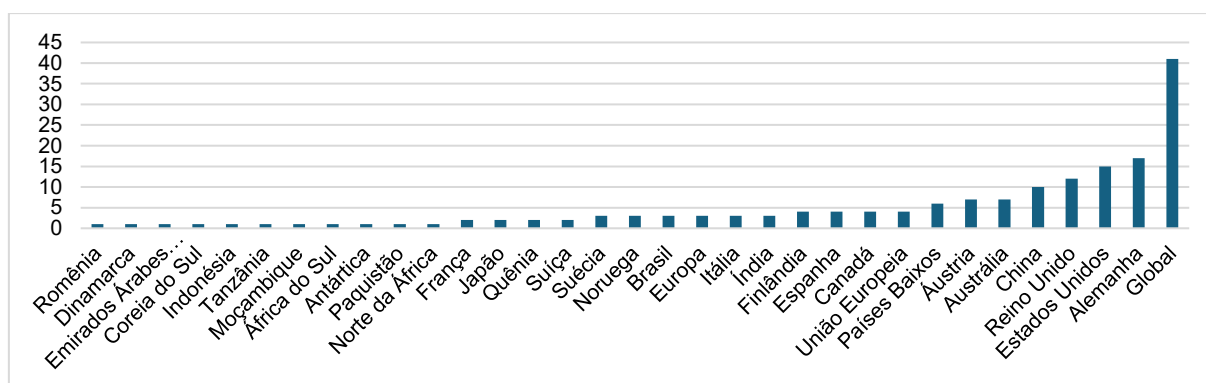
#### 3.2 Distribuição geográfica

A análise da Figura 2, referente à distribuição geográfica dos estudos, mostra que o tema possui caráter internacional, com ampla participação de países desenvolvidos e emergentes. A maioria dos trabalhos apresenta escopo global ou multinacional. Entre os

países mais recorrentes, destacam-se: Alemanha, com 17 estudos, refletindo seu papel ativo em pesquisas sobre transição energética e políticas climáticas; Estados Unidos, presente em 15 estudos, evidenciando sua relevância científica e tecnológica; e Reino Unido, citado em aproximadamente 12 estudos, associado a estratégias de mitigação e regulação ambiental. Também aparecem com frequência China, Austrália, Áustria e Países Baixos, sinalizando interesse crescente em soluções sustentáveis e políticas públicas de descarbonização. A União Europeia, o Canadá e a Europa como bloco figuram em análises sobre políticas regionais e metas climáticas conjuntas, enquanto o Brasil, embora menos recorrente, aparece em estudos voltados a países em desenvolvimento, frequentemente em comparação com Indonésia, China e Índia.

Além desses, países como Índia, Japão, Suécia, Finlândia e Noruega também contribuem para a diversidade de abordagens, enriquecendo o debate internacional. A presença de estudos com foco em modelagem global, cenários internacionais e comparações entre países reforça o caráter colaborativo e interdisciplinar da pesquisa sobre descarbonização urbana. Essa distribuição evidencia que, embora alguns países liderem em volume de produção científica, o debate sobre sustentabilidade urbana e descarbonização é amplamente compartilhado e adaptado às diferentes realidades locais.

Figura 2 – Distribuição geográficas das publicações por países



Fonte: autores.

### 3.3 Tipos de Estudos

A categorização apresentada na Tabela 1 mostra que a maior parte dos artigos se concentra em modelagens integradas, revisões de literatura e estudos empíricos, que juntos representam quase 70% do total. Três grupos metodológicos se destacam: (i) revisões sistemáticas, críticas ou conceituais, que organizam e consolidam o conhecimento existente; (ii) pesquisas empíricas baseadas em dados primários ou secundários, incluindo análises estatísticas, survey, estudos de caso e comparações internacionais; e (iii) modelagens de cenários, amplamente utilizadas para avaliar impactos econômicos, energéticos e climáticos.

No campo das modelagens integradas, destacam-se diferentes abordagens: os *Integrated Assessment Models (IAMs)*, que combinam dimensões ambientais, econômicas e sociais em simulações de longo prazo; os *Multi-Regional Input-Output (MRIO)*, voltados ao mapeamento de fluxos econômicos e emissões entre países; o *Regional Model of Investments and Development (REMIND)*, que integra energia, economia e clima em projeções globais; o *Energy-Environment-Economy Model Europe (E3ME)*, de base econométrica, que relaciona variáveis de energia, meio ambiente e economia; e o *The Integrated MARKAL-EFOM System (TIMES)*, utilizado na otimização de sistemas energéticos e na análise de cenários de transição tecnológica e de políticas públicas.

Além desses, foram identificados estudos qualitativos, como análises de discurso, entrevistas e pesquisas sobre movimentos sociais, que contribuem para compreender as

dimensões políticas e sociais da descarbonização. Também aparecem trabalhos comparativos de políticas nacionais e internacionais, úteis para identificar barreiras e oportunidades em diferentes contextos. Estudos quantitativos também estão presentes, aplicando métodos estatísticos para avaliar impactos, correlações e tendências relacionadas às políticas climáticas e à descarbonização

Em síntese, a produção científica sobre descarbonização e políticas climáticas revela-se ampla e diversificada, utilizando diferentes metodologias. As revisões organizam e estruturam o conhecimento, os estudos empíricos fornecem evidências aplicadas e as modelagens projetam cenários futuros. Essa combinação metodológica evidencia a complexidade do tema e reforça a importância de análises integradas que contemplem tanto o desenho de políticas quanto seus efeitos econômicos, sociais e ambientais.

Tabela 1 – Tipos de estudos e frequência

Tipo de Estudo	Frequência (n)
Revisões	27
Estudos empíricos	34
Modelagem integrada ( <i>IAMs, MRIO, REMIND, E3ME, TIMES etc.</i> )	35
Ensaio teórico	19
Estudos quantitativos	16
Estudos qualitativos	13
Estudos comparativos	8
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: autores.

### 3.4 Temas e Setores Analisado

O Quadro 1 apresenta os setores mais abordados nos estudos recuperados. Energia e transportes concentram a maior parte das estratégias de descarbonização, estando presentes em mais de dois terços das publicações. Indústria e agricultura também aparecem como setores críticos, em razão de suas emissões diretas e indiretas. A construção civil é tratada principalmente sob a ótica da eficiência energética e do retrofit urbano, enquanto o consumo doméstico é destacado como fator comportamental relevante, associado ao estilo de vida. Por fim, governança e políticas públicas perpassam todos os setores, evidenciando que a descarbonização depende de articulação institucional e integração entre diferentes áreas.

Quadro 1 – Setores mais abordados nos estudos

Temas/Setor	Total	Observações
Energia	52	Geração elétrica, transição energética, energias renováveis, bioenergia.
Transporte, Mobilidade	41	Veículos leves, transporte urbano, aviação, transporte marítimo.
Indústria	19	Indústria pesada, automotiva, química, cimento, aço, alumínio.
Agricultura, Uso da Terra	29	Agropecuária, florestas, manejo de paisagens, segurança alimentar.
Construção Civil, Edificações	14	Eficiência energética, sistemas prediais, habitação.
Consumo e Estilo de Vida	13	Alimentação, moradia, vestuário, serviços, comportamento.
Governança urbana	10	Cidades, gestão climática, infraestrutura urbana.
Política Climática, Governança	19	Regulação, compromissos nacionais, justiça social, fiscalidade.
Saúde Pública	7	Estudos multissetoriais e ligados à qualidade ambiental
Turismo, Cultura	2	Estudos sobre transporte e patrimônio
Economia	1	Estudos sobre economia

Fonte: autores.

### 3.5 Estratégias de Descarbonização

Dos 100 estudos analisados, apenas três não se aplicam diretamente a estratégias de descarbonização. O trabalho de Kulin et al. (2021) discute a influência da percepção pública e da ideologia política na aceitação de políticas ambientais. O estudo de Davidovic e Harring

(2020) examina o apoio social a diferentes instrumentos de política, como impostos, subsídios e proibições, sem detalhar medidas específicas de mitigação. Já Arnell e Freeman (2021) analisam os impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola e os riscos operacionais, voltando-se para a adaptação e não para a descarbonização.

Em contraste, os outros 97 estudos tratam diretamente de estratégias para reduzir emissões, abrangendo energia e mobilidade urbana, políticas públicas e instrumentos regulatórios, mudanças comportamentais e inovações tecnológicas. Essa predominância demonstra que a literatura internacional direciona grande parte de seus esforços para identificar e propor caminhos concretos de mitigação, ainda que uma parcela menor explore fatores indiretos, como percepções sociais ou impactos climáticos setoriais.

### 3.6 Barreiras

Os estudos recuperados permitem identificar barreiras classificadas de forma quantitativa, que podem ser organizadas em três grandes grupos: econômicas, políticas e tecnológicas.

As barreiras econômicas, presentes em cerca de 65% dos trabalhos, estão associadas a altos custos de tecnologias, ausência de incentivos financeiros, risco de ativos encalhados, desigualdades regionais, regressividade de políticas, custos de conformidade e falta de mecanismos de financiamento estável. Esses obstáculos são recorrentes em temas como energias renováveis, eletrificação, captura e armazenamento de carbono, transição justa e uso da terra.

As barreiras políticas e institucionais, mencionadas em aproximadamente 70% dos estudos, configuram-se como as mais frequentes. Incluem desconfiança em lideranças políticas, resistência de grupos de interesse, captura regulatória, ausência de coordenação entre instituições, lacunas de governança global, falta de clareza conceitual, influência de ideologias nacionalistas e baixa legitimidade pública. A elevada incidência desse grupo demonstra que a viabilidade das estratégias de descarbonização depende fortemente da aceitação política e da estabilidade regulatória.

As barreiras tecnológicas, presentes em cerca de 55% dos trabalhos, relacionam-se à maturidade insuficiente de tecnologias emergentes, como *Direct Air Capture*, *Bioenergy with Carbon Capture and Storage*, *Carbon Capture and Storage* e soluções baseadas em hidrogênio. Destacam-se ainda os altos custos de baterias, a infraestrutura limitada para energias renováveis, incertezas em modelos de previsão, falhas em monitoramento e verificação, além da necessidade de padronização, integração setorial e avanços em inovação.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que a produção científica sobre descarbonização urbana se intensificou na última década, com predominância de estudos voltados aos setores de energia e transporte. Conclui-se que as estratégias de descarbonização são amplamente dominantes no corpus analisado, reforçando a centralidade do tema nas agendas científica e política e destacando a necessidade de incorporar também dimensões sociais e perceptivas para ampliar a efetividade das ações de mitigação.

A análise evidencia ainda que as barreiras mais recorrentes são de natureza política e institucional, seguidas das econômicas e, em menor proporção, das tecnológicas. Esses resultados indicam que os desafios para a descarbonização urbana extrapolam os aspectos técnicos e financeiros, estando fortemente condicionados à aceitação política, à governança e à estabilidade regulatória.

Entre as limitações do estudo, ressalta-se a utilização exclusiva da base *Web of Science*, o que pode ter restringido a abrangência da amostra e excluído publicações relevantes de outras fontes. Como perspectivas futuras, recomenda-se a ampliação da análise

para bases como *Scopus* e *Science Direct*, de modo a enriquecer o mapeamento das publicações e incorporar maior diversidade de perspectivas. Além disso, sugere-se o desenvolvimento de estudos empíricos que aprofundem a compreensão sobre a implementação prática das políticas no contexto brasileiro.

## REFERÊNCIAS

- ARNELL, N. W.; FREEMAN, A. **The effect of climate change on agro-climatic indicators in the UK.** *Climatic Change, Estados Unidos*, v. 165, n. 40, p. 1–26, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03054-8>.
- CNI. **Descarbonização da indústria: análise de experiências internacionais e recomendações para o Brasil.** 2024. Disponível em: <<https://shre.ink/SL1F>>. Acesso em: 19/fev./25.
- CRESWELL, J. W. **Investigação Qualitativa e Projeto de Pesquisa: Escolhendo entre Cinco Abordagens.** Porto Alegre: Penso Editora, 2014. 335 p. ISBN: 978-85-65848-89-3.
- DAVIDOVIC, D.; HARRING, N. **Exploring the cross-national variation in public support for climate policies in Europe: The role of quality of government and trust.** *Energy Research & Social Science, Reino Unido*, v. 70, p. 101785, 2020. ISSN: 2214-6296, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101785>.
- ENEAS, R. **Descarbonização da mobilidade urbana: especialistas discutem caminhos para cidades sustentáveis.** *Portal FNP - Descarbonização da mobilidade urbana.* 2024. Disponível em: <<https://shre.ink/SL1y>>. Acesso em: 19/fev./25.
- FARIAS, C. R. **Combinando a Economia Circular com a Descarbonização das Cidades e seu Parque Edificado- Estudo de Caso Para Subúrbios em Degradação - ProQuest.** Tese - Universidade NOVA de Lisboa (Portugal), 2021. Disponível em: <<https://shre.ink/SL1J>>. Acesso em: 10/set./25.
- IPCC, I. P. on C. C. **Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change.** 6ª ed. Cambridge, UK and New York, NY, USA.: Cambridge University Press, 2022.
- JÚNIOR, M. A. C. de O.; COLLAÇO, F. M. de A. **Políticas públicas e instrumentos para transição energética: uma revisão sistemática da literatura.** Em: XXVI SEMEAD - Anais. São Paulo: [s.n.], 2023. Disponível em: <<https://shre.ink/SL1V>>. Acesso em: 21/set./25.
- KULIN, J.; JOHANSSON SEVÄ, I.; DUNLAP, R. E. **Nationalist ideology, rightwing populism, and public views about climate change in Europe.** *Environmental Politics, Reino Unido*, v. 30, n. 7, p. 1111–1134, 2021. ISSN: 0964-4016, DOI: <https://doi.org/10.1080/09644016.2021.1898879>.
- PAGE, M. J. et al. **The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews.** *BMJ*, [s.l.], v. 372, p. n71, 2021. ISSN: 1756-1833, DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- SEMIL, S. de M. A., **Infraestrutura e Logística. Plano de Ação Climática e Desenvolvimento Sustentável para São Paulo (PAC2050).** São Paulo, Governo do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://shre.ink/SL1u>. Acesso em: 9 set. 2025. , 2022
- VACCANI, J. T. **Estratégias e impactos da descarbonização para o desenvolvimento sustentável.** IEE. 2024. Disponível em: <<https://shre.ink/SL1C>>. Acesso em: 19/fev./25.
- WORLD BANK GROUP. **Brazil Country Climate and Development Report.** Washington, DC, USA: World Bank Publications, 2023. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10986/39782>>. Acesso em: 09/set./25.
- ZAMBONI, A. B., THOMMAZO, A. D., HERNANDES, E. C. M., et al. **StArt Uma Ferramenta Computacional de Apoio à Revisão Sistemática.** São Carlos, Universidade Federal de São Carlos (DC/UFSCar). Disponível em: <https://shre.ink/SL1j>. Acesso em: 10 set. 2025. , 2010.