

Revisão sistemática da literatura sobre índices voltados à sustentabilidade urbana

Vanessa Naomi Yuassa

Doutoranda, UFSCAR, Brasil.

vanessa.yuassa@gmail.com

0009-0006-1215-9328

Luciana Márcia Gonçalves

Professora Doutora, UFSCAR, Brasil.

lucianamg@ufscar.br

0000-0002-8206-239X

Thais de Cassia Matinelli Guerreiro

Professora Doutora, UFCAR, Brasil.

tcmguerreiro@ufscar.br

0000-0001-5795-8875

Submissão: 13/12/2024

Aceite: 01/01/2025

YUASSA, Vanessa Naomi; GONÇALVES, Luciana Márcia; GUERREIRO, Thais de Cassia Matinelli. Revisão sistemática da literatura sobre índices voltados à sustentabilidade urbana. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, [S. l.], v. 13, n. 88, 2025. DOI: [10.17271/23188472138820255599](https://doi.org/10.17271/23188472138820255599). Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/5599. Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Revisão sistemática da literatura sobre índices voltados à sustentabilidade urbana

RESUMO

Objetivo – Apresentar um estudo bibliométrico sobre os índices voltados à sustentabilidade urbana, com ênfase na identificação dos aspectos mais relevantes para sua elaboração e aplicação.

Metodologia – Foi realizada uma análise bibliométrica de artigos científicos disponíveis nas bases de dados Web of Science e Scopus, no período de 2016 a 2020. O estudo abordou a estrutura dos índices considerando elementos como dimensões, indicadores, métodos de seleção e normalização, atribuição de pesos e técnicas de agregação.

Originalidade/relevância – A pesquisa destaca os desafios existentes na operacionalização de índices compostos por mais de 50 indicadores, devido à escassez de fontes confiáveis de dados e à ausência de padronização metodológica na construção dos índices de sustentabilidade urbana.

Resultados – Os principais achados indicam a predominância do uso do tripé tradicional da sustentabilidade (ambiental, social e econômica), com acréscimos pontuais de dimensões territoriais. Não há consenso sobre os critérios e métodos de seleção dos indicadores. Na atribuição de pesos, observa-se uma preferência por métodos objetivos que reduzem a subjetividade. Quanto aos métodos de agregação, predominam os de cálculo simples.

Contribuições teóricas/metodológicas – O estudo evidencia lacunas teóricas e metodológicas na definição e aplicação dos índices de sustentabilidade urbana, apontando a necessidade de maior rigor e clareza nos processos de construção dos indicadores e de validação das metodologias empregadas.

Contribuições sociais e ambientais – Ao apontar as dificuldades e limitações dos índices existentes, a pesquisa contribui para a formulação de indicadores mais eficazes e aplicáveis à gestão urbana, com potencial de aprimorar políticas públicas e práticas de planejamento urbano voltadas à sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Índice. Desenvolvimento urbano. Planejamento urbano. Sustentabilidade.

Systematic literature review on indexes aimed at urban sustainability

ABSTRACT

Objective – To present a bibliometric study on indexes related to urban sustainability, with an emphasis on identifying the most relevant aspects for their development and application.

Methodology – A bibliometric analysis was conducted based on scientific articles available in the Web of Science and Scopus databases, covering the period from 2016 to 2020. The study addressed the structure of indexes considering elements such as dimensions, indicators, methods of selection and normalization, weight assignment, and aggregation techniques.

Originality/relevance – The research highlights the challenges involved in operationalizing indexes with more than 50 indicators, due to the lack of reliable data sources and the absence of methodological standardization in the construction of urban sustainability indexes.

Results – The main findings indicate the predominance of the traditional sustainability tripod (environmental, social, and economic), with occasional additions of territorial dimensions. There is no consensus regarding the criteria and methods for selecting indicators. In weight assignment, there is a tendency toward objective methods to reduce subjectivity. Regarding aggregation methods, simple calculations are the most commonly used.

Theoretical/methodological contributions – The study reveals theoretical and methodological gaps in the definition and application of urban sustainability indexes, pointing to the need for greater rigor and clarity in the processes of indicator construction and methodology validation.

Social and environmental contributions – By highlighting the difficulties and limitations of existing indexes, the research contributes to the formulation of more effective and applicable indicators for urban management, with the potential to improve public policies and urban planning practices aimed at sustainability.

KEYWORDS: Index. Urban development. Urban planning. Sustainability.

Revisión sistemática de la literatura sobre índices dirigidos a la sostenibilidad urbana

RESUMEN

Objetivo – Presentar un estudio bibliométrico sobre los índices orientados a la sostenibilidad urbana, con énfasis en la identificación de los aspectos más relevantes para su elaboración y aplicación.

Metodología – Se realizó un análisis bibliométrico de artículos científicos disponibles en las bases de datos Web of Science y Scopus, en el período comprendido entre 2016 y 2020. El estudio abordó la estructura de los índices considerando elementos como dimensiones, indicadores, métodos de selección y normalización, asignación de pesos y técnicas de agregación.

Originalidad/relevancia – La investigación resalta los desafíos existentes en la operacionalización de índices compuestos por más de 50 indicadores, debido a la escasez de fuentes de datos confiables y a la falta de estandarización metodológica en la construcción de índices de sostenibilidad urbana.

Resultados – Los principales hallazgos indican la predominancia del uso del trípode tradicional de la sostenibilidad (ambiental, social y económica), con añadidos puntuales de dimensiones territoriales. No hay consenso sobre los criterios y métodos utilizados para la selección de indicadores. En la asignación de pesos, se observa una tendencia hacia métodos objetivos que minimicen la subjetividad. En cuanto a los métodos de agregación, predominan los cálculos simples.

Contribuciones teóricas/metodológicas – El estudio evidencia lagunas teóricas y metodológicas en la definición y aplicación de índices de sostenibilidad urbana, señalando la necesidad de mayor rigor y claridad en los procesos de construcción de indicadores y validación de metodologías empleadas.

Contribuciones sociales y ambientales – Al señalar las dificultades y limitaciones de los índices existentes, la investigación contribuye a la formulación de indicadores más eficaces y aplicables a la gestión urbana, con potencial para mejorar las políticas públicas y las prácticas de planificación urbana orientadas a la sostenibilidad.

PALABRAS CLAVE: Índice. Desarrollo urbano. Planificación urbana. Sostenibilidad.

RESUMO GRÁFICO

Estudo Bibliométrico de índices voltados à sustentabilidade urbana

Componentes do índice Composto	Indicador	Índices compostos por mais de 50 indicadores apresentam dificuldade em utilizar única fonte
	Dimensão	Uso do tripé da sustentabilidade
	Método de seleção dos indicadores	Não há consenso dos critérios ou métodos utilizados
	Método de seleção dos pesos	Existe a tendência no uso de métodos de normalização objetivos
	Método de agregação	Os métodos mais usuais são os de cálculo simples

1 INTRODUÇÃO

A expansão cada vez maior das áreas urbanas coloca o processo de urbanização entre as tendências globais mais significativas do século XXI (UN HABITAT, 2014). Até 2050, espera-se que a população urbana praticamente duplique, fazendo da urbanização uma das tendências mais transformadoras do século XXI (UN HABITAT, 2019). À medida que o mundo continua a se urbanizar, a sustentabilidade das áreas urbanas deve ocupar um lugar central nas arenas científicas e políticas (HUANG, WU e YAN, 2015).

Os temas desenvolvimento e sustentabilidade urbana vem ganhando importância como pauta na discussão sobre os desafios das cidades contemporâneas. A predominância cada vez maior da ocupação humana em áreas urbanas coloca o processo de urbanização entre as tendências globais mais significativas do século XXI. A urbanização não é simplesmente um fenômeno demográfico ou espacial, pois, se efetivamente dirigida e implantada, tem potencial para auxiliar a sociedade em alguns dos principais desafios globais, incluindo pobreza, desigualdade, degradação ambiental, mudança climática, fragilidade, conflito, entre outros (Nações Unidas, 2014). No ponto de vista de Silva *et al.* (2024) as transformações territoriais apresentam, dualidade ideológica entre a busca do desenvolvimento, do crescimento e da modernidade local, em contrapartida com a prática, revelando contexto desigual e inadequado as necessidades locais.

Desta forma, a complexidade de fatores que podem influenciar o desenvolvimento ou o retrocesso em prol da sustentabilidade nas cidades, fomentam estudos de ferramentas cada vez mais precisas das diversas realidades das cidades. À medida que as cidades investem para obter vantagem competitiva, na economia global do conhecimento há uma necessidade de quantificar, medir, comparar e classificar as cidades com base em seu desempenho (BENCKE e PEREZ, 2018).

Sendo assim, atualmente existe uma gama de estudos com objetivos diversificados de análise de desempenho da sustentabilidade urbana. Esses estudos abordam temas como qualidade de vida, desempenho ambiental, bem estar, infraestrutura ecológica, felicidade, cidade inteligente, capacidade de carga de infraestruturas urbanas, equidade e inclusão social, governança e legislação, prosperidade das cidades e outros. Neste cenário, os ranqueamentos são geralmente justificados pela busca de uma ferramenta útil, para que formuladores de políticas e planejadores possam usar para exprimir o desempenho da sustentabilidade e formular estratégias adequadas para orientar a urbanização em direção a uma melhor sustentabilidade (YANG e JIANG, 2018; ZHENG, 2018; VERNA e RAGHUBANSHI, 2018).

Diversos pesquisadores desenvolveram métodos para mensurar a sustentabilidade urbana. Artigos de revisão bibliométrica foram consultados com o intuito de achar novas lacunas de estudos sobre o tema. Alguns estudos abordam questões específicas ou debatem conceitos que fazem parte da sustentabilidade urbana como: Clifton *et al.* (2008), que realizaram uma revisão das abordagens multidisciplinares para forma urbana, bem como, Zhang, Ghosh e Park (2023) que analisaram as relações morfologia-sustentabilidade urbana em 89 artigos, no entanto, com métodos quantitativos. Mori e Christodoulou (2012) discutem os requisitos conceituais para um Índice de Sustentabilidade da Cidade que possam avaliar os impactos

externos (efeitos de vazamento) das cidades em áreas internas. Michael *et al.* (2014) obtiveram como resultado listas de indicadores urbanos voltados para países Asiáticos. Musa *et al.* (2020) avaliaram 44 artigos científicos para a revisão dos domínios e dimensões voltados ao bem-estar da comunidade. Goodwin *et al.* (2021) realizaram 39 avaliações de sustentabilidade de cidades entre os anos de 2017 a 2020 para avaliar os limites de risco crescente, incluindo carbono, água e uso da terra, com foco na questão ambiental.

Em outros estudos é possível verificar o enfoque na análise metodológica para o desenvolvimento do índice. No ano de 2008, Munier (2008) realizou uma revisão bibliométrica com o propósito de determinar o melhor conjunto de indicadores, através do uso de programação Linear. Huang, Wu e Yan (2015) realizaram, por meio da revisão de dez estudos, uma análise qualitativa contendo os principais conceitos de sustentabilidade urbana, indicadores, escala de normalização, atribuição de pesos, agregação (soma, e média simples e média ponderada) comumente usados para medir o estado e o progresso da sustentabilidade urbana. Cohen (2017) fez uma análise quantitativa, com o propósito de identificar os métodos mais comuns usados para a avaliação da sustentabilidade urbana em relação às seguintes questões: identificar os enquadramentos mais comuns para a avaliação da sustentabilidade urbana e identificar as categorias mais comuns de organização de indicadores que medem a sustentabilidade urbana. Verma e Raghubanshi (2018) avaliaram qualitativamente os conteúdos das metodologias de seleção dos indicadores e dos cálculos dos indicadores. Kaur e Garg (2019) analisaram de forma qualitativa 105 estudos através do Diagrama de Fluxo de Prisma, identificando os conteúdos: categoria/tema, indicadores, peso e escala de classificação de desempenho. Sáez, Heras-Saizarbitoria e Rodríguez-Núñez (2020) realizaram uma pesquisa qualitativa a fim de analisar e avaliar as práticas reais do ponto de vista metodológico baseado nos *benchmarks* (BPs). Kong, Liu e Wu (2020) realizaram uma revisão sistemática proposta por Khan *et al.* (2003) e Liberati *et al.* (2009) com o objetivo de resumir a "pesquisa de ambiente urbano, sociedade e sustentabilidade" em *big data*.

Muitos são os desafios para o desenvolvimento de índices ou indicadores voltados à sustentabilidade urbana como: a forma de coleta de dados (MAYER, 2008); lacunas na comparabilidade dos indicadores (SCHIAVINA *et al.* 2019); as diferentes escalas espaciais (PUTZHUBER e HASENAUER, 2010; HUANG, WU e YAN, 2015); falta de dados, ponderação dos indicadores, falta de consenso no conceito de sustentabilidade e de definições dos indicadores (HUANG, WU e YAN, 2015); complexidade ou simplicidade excessiva na medição e falta de base teórica (VERNA e RAGHUBANSI, 2018).

2 OBJETIVO

Mesmo que o uso de índice e de indicadores, pautados no desenvolvimento urbano, sejam amplamente explorados, ainda se faz necessária a busca pela eficácia para o atingimento dos objetivos das políticas públicas através do uso dessas ferramentas.

Neste contexto e diante da complexa temática que envolve a realidade urbana, na busca do desenvolvimento sustentável, o objetivo deste artigo é realizar uma análise quantitativa atualizada para caracterizar os índices voltados à sustentabilidade urbana existente

através dos componentes do índice como: dimensão, indicador, método de seleção dos indicadores, método de normalização, método de seleção e cálculo dos pesos e método de agregação.

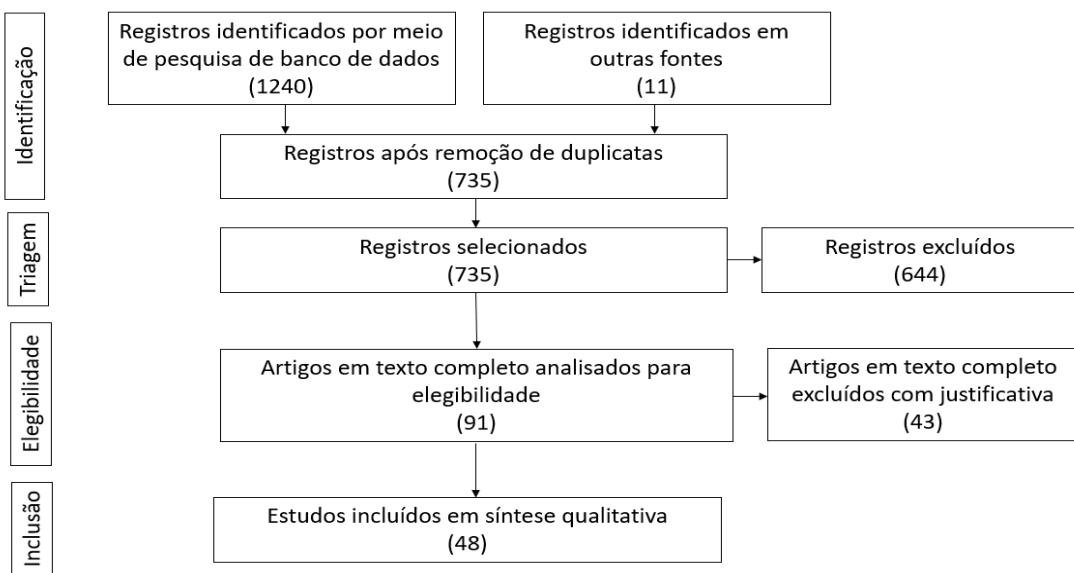
3 METODOLOGIA

O desenvolvimento da pesquisa se deu por uma revisão sistemática da literatura, nas bases de busca dos artigos utilizados *Web of Science* e *Scopus*. O período temporal escolhido foram as publicações entre os anos de 2016 até 2020, sendo inclusos os artigos do ano de 2021 publicados até a data que foi realizada a pesquisa (4/8/2021). Apenas artigos de periódicos revisados por pares publicados em inglês foram considerados.

Os termos de pesquisa utilizados foram: (índice ou indicador) e (“desenvolvimento urbano sustentável” ou “sustentabilidade urbana”) no título, resumo ou palavras-chave. Como resultado, foram obtidos um total de 1240 documentos, sendo considerados trabalhos de diferentes agências.

Neste estudo foi utilizado o método PRISMA para a realização do refinamento dos artigos. Segundo Meher; Liberati, Tetzlaff e Altman (2009) este método foi desenvolvido no ano de 1996 com o objetivo de avaliar os avanços conceituais e práticos na ciência das revisões sistemáticas e realizar a revisão das diretrizes para a realização de revisões sistemáticas e meta-analises. Além disso, também é útil para a realização de avaliação crítica de revisões sistemáticas publicadas.

O refinamento dos 1240 documentos ocorreu através de quatro etapas: i) Etapa 1: Identificação, ii) Etapa 2: Triagem, iii) Etapa 3: Elegibilidade e, iv) Inclusão. Na etapa 1 inicialmente foi realizada uma busca de artigos através de palavras-chaves nas bases do *Web of Science* e da *Scopus*, bem como a inserção de registros de outras fontes. Posteriormente, realizou-se a exclusão de estudos duplicados. Na etapa 2 foi realizada a análise de conteúdo (triagem) tendo como base estudos que contemplaram no mínimo o tripé da sustentabilidade (social, econômica e ambiental) e suas variações através da inserção de outras dimensões como exemplo: infraestrutura, socioculturais, qualidade de vida, governança, legislação, habitabilidade, acessibilidade, urbanização, saúde, espacial, tecnologia, transporte e outros. Na etapa subsequente, foram considerados elegíveis os documentos com a aplicação dos indicadores relacionados nas diversas escalas: municipal, regional, nacional ou internacional, sendo excluídos as escalas de bairro, quadras e áreas exclusivamente rurais. Obtendo como resultado a Etapa 4 (inclusão), conforme apresentado no fluxograma PRISMA na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma PRISMA¹

Fonte: adaptado de Liberati (2009).

4 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados sobre os componentes do índice com maior relevância: dimensões, indicadores, forma de levantamento dos indicadores, método de seleção dos indicadores, normalização dos indicadores, método de seleção de pesos e agregação para cálculo e composição do índice final.

Os documentos selecionados estão elencados na Tabela 1, composto no total de 48 estudos e cada fonte está relacionada com suas respectivas: escala espacial, número de dimensão, número de subdimensão, número de indicadores, número de estudos de caso, porte e país ou continente que foi aplicado o índice. Observam-se diversas escalas de estudos de caso: município (43), Condado (1) províncias (1), região metropolitana (1) e país (2); com respectivas participações relativas de 87,4; 2,1%; 2,1%; 2,1%; 2,1% e 4,2%. Verificou-se um esforço considerável no desenvolvimento de índices voltados para a escala municipal. Em relação a localização do estudo, dos 48 documentos, 20 (41,6%) foram realizados na China, seguida de estudos com 8 múltiplas cidades no mundo (16,7%), 4 na Europa (8,3%), 2 na Hungria e na Índia com 4,2% cada e outros (25%).

Tabela 1 – Dados gerais dos documentos selecionados (continua)

¹ Autores e metodologistas experientes desenvolveu o PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) como uma evolução da diretriz original do QUOROM para revisões sistemáticas e meta-análises de avaliações de intervenções de saúde.

N.	Fonte (ano)	Escala espacial	N. Dimensão	N. sub dimensão	N. indicadores	N. estudos aplicados	Porte (hab.)	País/Continente
1	Jiao <i>et al.</i> (2016) ²	Província	4	-	21	31	-	China
2	Li e Li (2017) ³	Município	3	12	31	16	1 até 10 milhões	China
3	Alfaro-Navarro; López-Ruiz; Peña (2017) ⁴	Município	3	10	40	158	Principais cidades da Europa	Europa
4	Phillis; Kouikogloua; Verdugo (2017) ⁵	Município	7	-	46	106	Capitais e megacidades	Diversos países
5	Sun <i>et al.</i> (2018) ⁶	Município	3	-	22	277	Peq. (<1 milhão), médio (1-3 milhões), grande e megal. (>3 milhões)	China
6	Musa <i>et al.</i> (2018) ⁷	Município	4	2	37	1	-	Malásia
7	Shmelev, e Shmeleva (2018) ⁸	Município	4	-	16	57	Cidades Globais	Diversos países
8	Yang e Jiang (2018) ⁹	Município	6	7	20	1	-	China
9	Zheng e Bedra (2018) ¹⁰	Município	8	-	51	31	-	China
10	Anisurrahman e Alshuwaikhat (2019) ¹¹	Município	5	-	92	1	1.534.731	Arábia Saudita
11	Feleki; Vlachokostas; Moussiopoulos (2019) ¹²	Município	4	-	34	1	1.000.000	Grécia
12	Founda e Elkhazendar (2019) ¹³	Município	3	10	30	3	-	Reino Unido, Egito e Eslováquia
13	Gong <i>et al.</i> (2019) ¹⁴	Município	5	13	35	1	-	China
14	González-García <i>et al.</i> (2019) ¹⁵	Município	3	-	33	64	vila (<5.000), pequeno (5.000-50.000) e médio (>50.000)	Espanha
15	Hassan e Kotval-K (2019) ¹⁶	Município	9	-	40	1	300.000	Iraque

²Chongqing University³Guangdong Institute of Eco-environmental Science and Technology; East China Normal University; Shanghai Key Laboratory of Urbanization and Ecological Restoration⁴University of Castilla-La Mancha⁵Technical University of Crete; Escuela Superior Politécnica de Chimboraz⁶Chinese Academy of Sciences; Chinese Academy of Forest Inventory and Planning⁷Universiti Putra Malaysia⁸Oxford; University of St Gallen; ITMO University; Institute of Sustainable Development Strategy (ANO)⁹Taiyuan Normal University¹⁰Central South University¹¹King Fahd University of Petroleum & Minerals (KFUPM)¹²Aristotle University¹³Tanta University; Dar AlUloom University¹⁴Sichuan University¹⁵University of Santiago de Compostela; Galician Federation of Municipalities and Provinces (FEGAMP)¹⁶Michigan State University; Nawroz University

Tabela 1 – Dados gerais dos documentos selecionados (continua)

N.	Fonte (ano)	Escala espacial	N. Dimensão	N. sub dimensão	N. indicadores	N. estudos aplicados	Porte (hab.)	País/Continente
16	Kotharkar; Pallapu; Bahadure (2019) ¹⁷	Município	3	-	21	1	2.400.000	Índia
17	Tang <i>et al.</i> (2019) ¹⁸	Município	3	10	39	16	>1 milhão	China
18	Xu; Gao; Zhang; Fu (2019) ¹⁹	Município	6	-	11	26	-	China
19	Yang (2019) ²⁰	Município	6	-	20	8	1-6 milhões	China
20	Yi; Li; Zhang (2019) ²¹	Regional	3	-	18	13	2-14 milhões	China
21	Yi; Dong; Li (2019) ²²	Município	3	-	21	17	1-12 milhões	China
22	Zulaica (2019) ²³	Município	2	16	32	1	-	Argentina
23	Buzasi e Jager (2020) ²⁴	Município	3	-	30	1	-	Hungria
24	Bhattacharya <i>et al.</i> (2020) ²⁵	Município	4	15	47	3	>1 milhão	Índia
25	Chan (2020) ²⁶	Município	3	-	18	5	100 mil - 2,2 milhões	Camboja
26	Fu <i>et al.</i> (2020) ²⁷	Município	4	15	30	1	9,9 milhões	China
27	Li e Yi (2020) ²⁸	Município	3	-	24	9	10-22 milhões	China
28	Liu <i>et al.</i> (2020) ²⁹	Município	5	-	40	6	-	China
29	Mangi <i>et al.</i> (2020) ³⁰	Região Metropolitana	3	-	35	34	-	China e Paquistão
30	Steiniger <i>et al.</i> (2020) ³¹	Município	5	-	29	6	170 mil-7,5 milhões	Chile
31	Wang <i>et al.</i> (2020) ³²	Município	11	-	92	35	Mega, grandes e médias cidades	China
32	Xia <i>et al.</i> (2020) ³³	Condado	3	-	6	2850 condados	-	China
33	Yang; Yang; Wang (2020) ³⁴	Município	6	-	20	13	>3 milhões	China

¹⁷ Visvesvaraya National Institute of Technology, Nagpur¹⁸ Anhui Polytechnic University; Jiangsu University of Science and Technology; The University of York; Fujian Agriculture and Forestry University¹⁹ Shanghai Business School; Shanghai Normal University; Chinese Academy of Sciences²⁰ Chinese Academy of Sciences²¹ Northeastern University; Liaoning University²² Northeastern University²³ National Council of Scientific and Technical Research (CONICET); Institute of Habitat and Environment (IHAM); National University of Mar del Plata²⁴ Budapest University of Technology and Economic²⁵ Kyoto University²⁶ General Secretariat of the National Council for Sustainable Development; Office of Sustainable Lifestyle²⁷ Shandong University; Environmental Audit Reception Center for Construction Projects in Shandong Province²⁸ Northeastern University²⁹ Xi'an University; Griffith University; Shaanxi Normal University; Huangshan University; Shanghai Normal University³⁰ Tsinghua University; Mehran University of Engineering and Technology³¹ Pontificia Universidad Católica de Chile; Universidad de Concepción; Universidad Mayor;³² Chongqing University; The University of Manchester³³ Wuhan University; Erasmus University Rotterdam; Delft University of Technology; Beijing Cstind Science and Technology Co³⁴ University of Chinese Academy of Sciences; Chongqing Normal University

Tabela 1 – Dados gerais dos documentos selecionados (conclusão)

N.	Fonte (ano)	Escala espacial	N. Dimensão	N. sub dimensão	N. indicador	N. estudos aplicados	Porte (hab.)	País/Continente
34	Buzási e Jäger (2021) ³⁵	Município	3	-	30	20	32 mil – 1,7 milhões	Hungria
35	Dong et al. (2021) ³⁶	Município	3	-	18	26	Cidades centrais	China
36	Li et al. (2021) ³⁷	Município	3	-	24	17	> 1 milhão	China
37	Sun e Zhang (2021) ³⁸	Município	5	-	51	13	>3 milhões	China
38	Siemens (2009) ³⁹	Município	8	8	30	30	-	Europa
39	European Commission (2012) ⁴⁰	País	3	8	21	-	-	151 países
40	Zoeterman et. al (2015) ⁴¹	Município	3	19	87	58	>100.000	União Europeia
41	UNITED NATIONS (2016) ⁴²	País	-	8	18	-	-	156 países
42	UNITED NATIONS (2016) ⁴³	Município	3	20	87	145	> 40.000	U.E. e Holanda
43	Zoeterman et. al (2016) ⁴⁴	Município	6	22	62	54	cidades em desenvolvimento	Países
44	ARCADIS (2018) ⁴⁵	Município	3	-	48	100	principais cidades	Todos os continentes
45	SDSN (2018) ⁴⁶	Município	15	-	57	105	-	Estados Unidos
46	SDSN (2019) ⁴⁷	Município	-	15	56	45	Grande porte e capitais	Europa
47	IESE (2020) ⁴⁸	Município	9	-	101	174	79 capitais e as maiores cidades	80 países
48	The Mori Memorial Foundation (2020) ⁴⁹	Município	6	26	70	288	Cidades influentes	Todos os continentes

Fonte: Autora (2024).

Quanto à análise das dimensões, subdimensões e número de indicadores, pode-se verificar que há uma tendência na utilização de 4 até 6 dimensões, com especial atenção para

³⁵ Budapest University of Technology and Economics³⁶ Nanjing University of Aeronautics and Astronautics; Chinese Academy of Sciences; University of Chinese Academy of Sciences; Guilin University of Electronic Technology³⁷ North China University; Hohai University; Henan Key Laboratory of Water Environment Simulation and Treatment; Collaborative Innovation Center of Water Resources Efficient Utilization and Protection Engineering; Baoding Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute³⁸ Tianjin University,³⁹ Economist Intelligence Unit; Siemens⁴⁰ European Commission⁴¹ Tilburg University⁴² UN-Habitat⁴³ Telos; Tilburg Sustainability Center⁴⁴ UN-Habitat⁴⁵ Arcadis⁴⁶ Sustainable Development Solutions Network⁴⁷ Telos; Sustainable Development Solutions Network⁴⁸ IESE Business School University of Navarra⁴⁹ Institute for Urban Strategies; The Mori Memorial Foundation

os índices com três dimensões, que corresponde a 40% dos documentos. As subdimensões estão presentes em 18 das 48 fontes analisadas, ou seja, 38 % dos estudos. Além disso, também é possível observar que o número de indicadores é bastante variável nas escalas municipais (entre 11 a 183 indicadores).

Dentre os 48 documentos analisados, é importante destacar que somente 20,0% documentos apresentam índices compostos por mais de 50 indicadores, bem como o uso de dados auditados para cada indicador. Em relação aos índices que são compostos por 50 indicadores ou menos, dos 38 documentos 17 (44,7%) utilizam única fonte de dados para cada indicador. Salienta-se desta forma, o desafio no desenvolvimento de índices utilizando uma vasta gama de indicadores, com o objetivo de garantir a confiabilidade na utilização de mesma metodologia na coleta de dados (Tabela 2).

Tabela 2 – Utilização de única fonte auditável ou múltipla para cada indicador

Número de Indicadores	Número de Documentos	Fonte Única	Fonte Múltipla
50 +	10	2 (20,0%)	8 (80,0%)
50 -	38	17 (44,7%)	21 (55,3%)
Total Geral	48	19 (39,6%)	29 (60,4%)

Fonte: Autora (2024).

4.1 Levantamento das Dimensões

Na Tabela 3 é possível verificar as dimensões mais utilizadas dentre os estudos. Observa-se que dos 48 documentos analisados, o tripé tradicional da sustentabilidade foi utilizado para a composição das dimensões do índice, com enfoque principalmente para o meio ambiente (79,2%) e econômico (70,8%), seguido do social (56,3%). Os demais documentos fazem adições de outras dimensões como: urbanização espacial (29,2%), transporte, governança/ legislação, infraestrutura urbana com 10,4% cada e outros. Importante salientar que há um número significativo de estudos que não fazem o uso das dimensões (12,5%) para estruturar o índice.

Tabela 3 – Síntese das dimensões dos 48 estudos

N.	Nome das dimensões	Observações	Porcentagem
1	Meio ambiente	38	79,2
2	Econômico	34	70,8
3	Social	27	56,3
4	Urbanização espacial	14	29,2
5	Não usam dimensão para desenvolvimento do índice	6	12,5
6	Transporte	5	10,4
7	Governança e legislação	5	10,4
8	Infraestrutura urbana	5	10,4
9	Saúde	4	8,3
10	Educação	4	8,3
11	Recurso	4	8,3
12	Equidade social	3	6,3
13	Habitação	3	6,3

Fonte: Autora (2024).

4.2 Levantamento dos Indicadores

Medir o progresso em direção a sustentabilidade urbana ou insustentável, requer uma forma de mensurar determinado aspecto da realidade, podendo ser através de dados qualitativos ou quantitativos.

A existência de uma gama de diversidade de indicadores pode ser observada no Quadro 1. No total obteve-se 1.538 indicadores nos 48 documentos analisados. Devido ao método de pesquisa de indicadores número expressivo de indicadores, realizou-se a concatenação dos indicadores mais utilizados, presentes em pelo menos 7 documentos. Esse valor foi adotado pois possibilita vislumbrar a diversidade de possibilidades de indicadores que estão relacionadas à questão da sustentabilidade urbana: saneamento básico, espacialização urbana, energia, habitação, mobilidade, educação, acidente, cultura, conectividade e Transparéncia e participação popular.

Importante salientar que alguns indicadores expostos no Quadro 1 não estão disponíveis em plataformas abertas para todas as cidades brasileiras independentemente do porte: taxa de efluentes industriais, parcela de reciclagem de lixo, espaço verde como % da área da cidade, área verde per capita, taxa de urbanização, densidade de conectividade e densidade do Médico. Outra questão são os indicadores que não fazem parte da realidade espacial urbana de todos os municípios brasileiros como: proporção da população com acesso ao transporte público, número de ônibus e trólebus, parcela de lixo inofensivo, taxa de resíduos sólidos industriais, reaproveitamento de resíduos sólidos industriais e consumo de energia renovável.

Quadro 1 - Indicadores utilizados em pelo menos sete documentos diferentes (continua)

N	Temas	Indicadores	N.	Temas	Indicadores
1	Ruído	Aborrecimento de ruído de percepção	29	Educação	Número de crianças na educação infantil
2	Qualidade do ar	Emissão de Co ₂	30		Número de crianças na educação primária
3		Emissões de óxidos de nitrogênio	31		População com ensino médio (%)
4		Emissão de Dióxido de enxofre	32		Parcela da população no Ensino superior
5		Níveis anuais de material particulado fino	33	P & D	Intensidade de Pesquisa & Desenvolvimento
6		Índice de poluição	34		Despesas de ciência e tecnologia
7		Intensidade de Ozônio	35	Especialização urbana	Densidade populacional urbana
8		Qualidade do ar	36		Espaço verde
9	Abastecimento de água	Consumo de água potável	37		Área verde per capita
10		Cobertura de abastecimento de água	38		Taxa de crescimento populacional
11		Qualidade da água superficial e subterrâneas	39		Taxa de urbanização
12	Esgoto/efluente	Cobertura da rede de esgoto	40	Social	Renda média familiar
13		Taxa de efluentes industriais	41		Renda per capita

14	Resíduo sólido	Produção de lixo	42		Coeficiente de Gini
15		Parcela de reciclagem de lixo	43		Proporção de vulneráveis à pobreza
16		Parcela de lixo inofensivo	44		Taxa de desemprego
17		Taxa de resíduos sólidos industriais	45	Econômico	Taxa de emprego
18	Resíduo sólido	Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais	46	Econômico	PIB per capita
19		Proporção de resíduos sólidos urbanos com destinação adequada	47		PIB da indústria secundária e terciária
20	Energia	Consumo de energia	48		Investimento per capita em ativos fixos
21		Consumo de energia renovável	49		Taxa de crescimento do PIB
22	Conectividade	Densidade de conectividade urbana	50	Comércio/ serviço	Vendas no varejo de bens de consumo
23	Acidentes	N. feridos em acidentes	51		Dias para abrir um negócio
24	Telefonia	Disponibilidade Wi-Fi gratuito	52	Saúde	Expectativa de vida ao nascer
25	Habitação	Domicílios com oneração > 30% renda com aluguel	53		Número de leito hospitalar
26	Participação popular	Participação da população no processo de planejamento	54		Densidade do Médico
27	Transporte público	Proporção da população com acesso ao transporte público	55	Cultura	Número de bibliotecas públicas
28		Número de ônibus e trólebus	56	Segurança	Taxa de criminalidade

Fonte: Autora (2024).

4.3 Método de seleção dos Indicadores

Diversas características e métodos de seleção dos indicadores foram identificados com o objetivo de selecioná-los. Duas foram as formas de seleção predominantes: o método participativo e o método baseado nas características dos indicadores.

Para a construção do método participativo com consulta a especialistas, foram observados a utilização dos seguintes métodos: Método Delphi (MUSA, *et al.*, 2018), IndSelc Strategy (FELEKI, VLACHOKOSTAS e MOUSSIOPoulos, 2018), Matriz Leopolda (GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2019) e AHP (CHAN, 2020).

Existem diversos métodos de seleção dos indicadores que tem por base as características dos indicadores, como observa-se na Tabela 4. As características ou métodos de seleção dos indicadores que tiveram maior abordagem entre os documentos selecionados foram: revisão da literatura (20,0%), entre os documentos selecionados, seguida da disponibilidade dos dados (19,2%), consulta a especialistas (10,0%), relevância (7,7%), abrangência/ cobertura (7,7%), mensurável e comparabilidade (4,6%) cada, dentre outros. Salientando que pode haver mais de um critério de seleção dos indicadores por documento.

Logo, não há um consenso das características ou métodos utilizados entre os documentos estudados. Existem vários pontos de vista positivos e negativos na utilização dos métodos subjetivos (métodos participativos) ou com base nas características dos indicadores

(métodos objetivos). Segundo González-García, S. et al. (2019) há um equívoco usual no momento da seleção do conjunto de indicadores, o qual se deve ao uso exclusivo de métodos subjetivos. Dessa forma, a seleção dependerá somente do conhecimento dos especialistas. Alguns estudos como o da European Commission (2012) e da SDSN (2019) trazem a importância das características por meio de critérios tecnicamente sólidos de seleção. No entanto, ainda há um terceiro ponto de vista: Chrysoulakis et al. (2011) coloca que pode ser útil um conjunto de indicadores selecionados tanto pelo método subjetivo quanto pelas características dos indicadores.

Tabela 4 – Critérios de seleção dos indicadores

Critério de seleção do indicador	Observações	Porcentagem
Revisão da literatura	26	20,0
Disponibilidade dos dados	25	19,2
Consulta a especialistas	13	10,0
Relevância	10	7,7
Abrangência/ cobertura	10	7,7
Mensurável	6	4,6
Comparabilidade	6	4,6
Representatividade	4	3,1
Análise das condições locais	4	3,1
Válidos e confiáveis	4	3,1
Remoção de dados duplicados	3	2,3
Independência	3	2,3
Compreensíveis para a comunidade	3	2,3
Análise de correlação	2	1,5
Dado recente	2	1,5
Outros	9	7,0
	130	100,0

Fonte: Autora (2024).

4.4 Método de normalização

A normalização dos dados busca eliminar a incomensurabilidade dos indicadores que pode ser causada por diferenças em suas dimensões e magnitudes (DONG, L. et al. 2021). Logo, os valores dos indicadores são geralmente normalizados (deixá-los na mesma escala como, por exemplo, transformados em valores entre 0 e 1) para em seguida atribuir pesos.

No Quadro 2, observa-se que cinco tipos de metodologias de normalização foram mais utilizados nos estudos selecionados. Entre os métodos de normalização encontrados, 51% dos documentos selecionados utilizam o método de interpolação linear, seguido pelo método do valor máximo e do valor mínimo (12,2%), método de normalização ou padronização para um z-score (8,2%), número de indicadores acima da média menos o número abaixo da média (4,1%) e reversão simples (2,0%). Segundo Feil (2021) cada método de normalização apresenta suas vantagens e suas desvantagens. Uma questão importante para o procedimento de normalização dos dados é a presença de outliers, os quais podem influenciar fortemente os resultados, distorcer e mascarar a realidade.

Quadro 2- Métodos de normalização dos indicadores (continua)

Método de normalização	Fórmula	Obs.	%	Vantagem	Desvantagem
Método de interpolação linear	$X^{(S)} = 100 \frac{X - \text{Min}(X)}{\text{Max}(X) - \text{Min}(X)}$	25	51,0	Fácil manipulação e entendimento	Outliers afetam o índice.
Valor máximo e valor mínimo	$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_{(xi)}}$	6	12,2	Definição de limites e os intervalos são idênticos para todos os indicadores (0, 1).	Outliers afetam o índice e o distorcem mais que o Z-score.
Normalização ou padronização para um z-escore	$Z_x = \frac{X_i - \mu_x}{\sigma_x}$	4	8,2	Simples e fácil.	São dependentes de outliers que podem refletir erros nos dados de entrada
Número de indicadores acima da média menos o número abaixo da média	$S_i = \frac{(U_i - L_i)(X_i - T_i)}{(U_i + L_i - 2 T_i)X_i + U_i T_i + L_i T_i - 2U_iL_i}$	2	4,1	Simples e fácil e robusto frente aos Outliers	Perda de informação do nível de intervalo. A arbitrariedade do nível de limiar e a omissão de informações de nível absoluto.
Reversão simples	$X(S) = 100 - X$	1	2,0	-	-
Não deixa claro	-	10	22,5	-	-
Total	-	48	100	-	-

Fonte: adaptado de Feil (2021).

4.5 Método de seleção e cálculo dos Pesos

A determinação dos pesos do sistema de indicadores voltados para a sustentabilidade (Tabela 5), segundo Jiao L., Shen L., Shuai C., e He B. (2016) podem ser divididos em dois grupos: peso igualitário (mesmo peso) e pesos distintos. Founda (2019) afirma que a importância no uso de pesos diferenciados se deve à complexidade no desenvolvimento de um índice sustentável e a interligação entre os indicadores.

O grupo dos pesos distintos é dividido em duas categorias: método subjetivo (é um método participativo que depende das experiências de pesquisa e conselhos de especialistas do grupo) e método objetivo (os pesos são obtidos através de cálculos matemáticos).

No estudo bibliométrico realizado foi possível verificar que quase metade dos autores utilizaram a categoria objetiva (Tabela 5). Liu *et al.* (2020) observou a tendência na utilização de métodos objetivos para a seleção dos pesos para que possa garantir menor subjetividade no processo de cálculo do índice final, tornando o peso mais objetivo e confiável. O principal objetivo é evitar erros na ponderação subjetiva (SUN e ZHANG, 2021). Dentre as metodologias

objetivas mais utilizadas para a determinação dos pesos estão os métodos de Entropia, DP2 de Pena, PCA e Fuzzy. Em contrapartida, somente 16,7% optaram pela metodologia participativa.

Jiao *et al.* (2016) afirmam que os métodos objetivos como PCA (Análise de Componentes Principais) e o método de entropia apresentam algumas deficiências na aplicação. Nestes métodos objetivos, o cálculo dos pesos está relacionado apenas na diferença dos dados (quanto maior a diferença entre os valores de desempenho, maior será o peso dado ao indicador associado), havendo a possibilidade dos resultados não refletirem a importância relativa entre os indicadores.

Tabela 5 - Categoria e metodologia de determinação de peso

Grupo	Categoria	Metodologia para determinação de pesos	Número	Porcentagem
Peso igualitário	Mesmo peso	Não utiliza peso	14	29,2
Pesos distintos	Objetivo	Entropia	9	52,1
		Distância P2 (DP2)	3	
		Análise de componentes principais (PCA)	2	
		Método Fuzzy	2	
		Outros	9	
	Subjetivo	Participativo (não especifica a metodologia)	5	16,7
		AHP	2	
		Método Delphi	1	
Não diz			1	2,1
Total			48	100

Fonte: Autora (2024).

Segundo Misha (2009 *apud* Nayak e Mishra, 2013, p.2), “[...] os indicadores sintéticos construídos por Análise de Componentes Principais (PCA), Análise Envoltória de Dados (DEA) ou outras alternativas utilizando normas não euclidianas são deficientes em uma ou outra propriedade desejável em comparação ao método de Pena”.

Afirma-se também que o método DP2 de Pena, resolve um grande número de problemas como a agregação de variáveis expressas em diferentes medidas, pesos arbitrários e duplicidade de informação (PENA, 1977; ZARAZOSA, 1996; SOMARRIBA e PENA, 2009; MONTERO *et al.*, 2010; MARTINA e FERNÁNDEZ, 2011 *apud* NAYAK e MISHRA, 2013, p.2).

Por outro lado, o método Fuzzy segundo Feil (2021) tem como vantagem solucionar problemas complexos. Porém, a desvantagem é em função da complexidade e imprecisão dos dados.

Em relação aos métodos subjetivos, a técnica Delphi é um método que obtém opiniões de diferentes especialistas sobre temas complexos e abrangentes, caracterizado por uma série de rodadas de questionários e processos de *feedback* para coletar dados para chegar a um consenso do painel sobre um problema de pesquisa complexo, no qual não há informações precisas disponíveis (BOLGER e WRIGHT, 2011; LINSTONE & TUROFF, 2002).

Segundo Gonzales *et al.* (2019) a metodologia *Analytic Hierarchy Process* — AHP (Método de Análise Hierárquica) é considerada uma técnica simples e flexível com o objetivo de atribuir pesos a diferentes indicadores, realizada de acordo com a experiência e opinião dos

especialistas. Diferentemente do método Delphi, o método AHP é um processo de tomada de decisão baseado na comparação de pares de critérios, seguido pela aplicação de um processo para cálculo da importância relativa de cada critério (SAATY, 2005).

4.6 Método de agregação Final

“A agregação de indicadores auxilia os tomadores de decisão, reduzindo a confusão de muitas informações, ajudando assim a comunicar as informações de forma sucinta e eficiente” (FOUNDA e ELKHAZENDAR, 2019, p. 28).

Existem diversas formas de agregação dos indicadores, porém, atualmente o desafio é gerar um único número que represente a dimensão ou índice geral, possibilitando a realização de comparações entre cidades, distritos e/ou países de acordo com o objetivo proposto.

Na Tabela 6 é possível observar que os métodos de agregação mais utilizados são a média ponderada (27,1%) e aritmética com 20,8%, seguida da somatória (12,5%), do grau de coordenação de acoplamento (8,3%) e dos métodos de entropia, fuzzy e média geométrica com 4,2% cada. Alguns autores não realizam o cálculo de agregação (14,6%) e também há autores que não deixam claro a metodologia de agregação utilizada (10,4%), devido a pouca explicação ou nenhuma informação.

Tabela 6 - Métodos de agregação dos 48 estudos

Método de agregação	Observações	Porcentagem
Média ponderada	13	27,1
Média aritmética	10	20,8
Não realiza o cálculo	7	14,6
Somatória	6	12,5
Não deixa claro o método utilizado	5	10,4
Grau de coordenação de acoplamento	4	8,3
Método fuzzy	2	4,2
Agregação linear	2	4,2
Outros	8	16,7

Fonte: Autora (2024).

Os métodos mais simples (média aritmética, ponderada e somatória) são os mais utilizados devido a sua simplicidade de cálculo. Os métodos fuzzy, entropia e grau de coordenação de acoplamento apresentam base de cálculo mais complexos. No ponto de vista de Pissourios (2013), a complexidade nos cálculos de alguns métodos os torna pouco práticos para o uso real.

A complexidade no cálculo pode ser verificada no estudo realizado por Dong *et al.* (2021) para a análise dos efeitos do acoplamento no sistema Economia-Sociedade-Ambiente em áreas urbanas. O Método de Entropia (EM) e o Modelo de Grau de Coordenação de Acoplamento (CCDM) avaliam sinteticamente o grau de coordenação de acoplamento do sistema Economia-Sociedade-Ambiente (ESE), em conjunto com a Rede Neural Artificial de Retropropagação (BPANN) para explorar os fatores que influenciam o grau de coordenação de

acoplamento do sistema ESE. Considerando desta forma, a relação não linear entre os diversos indicadores e o grau de coordenação de acoplamento do sistema ESE (DONG *et al.* (2021, p. 1).

Ademais, com a lógica fuzzy é possível trabalhar as questões subjetivas envolvidas no tema da sustentabilidade. Por exemplo, Phillis, Grigoroudis & Kouikoglou, 2011 *apud.* NASCIMENTO, 2020, p. 17), elaboraram um estudo usando a metodologia do SAFE (*Sustainability Assessment by Fuzzy Evaluation*) para avaliar a sustentabilidade de vários países. Também é observada a complexidade no cálculo no estudo realizado por Phillis, Kouikoglou e Verdugo (2017) que aplicaram o método SAFE para avaliar a sustentabilidade urbana e *ranking* de 106 cidades (capitais ou cidades históricas). Segundo os autores, SAFE é um sistema de raciocínio fuzzy hierárquico no qual os indicadores básicos são agrupados de acordo com suas características para produzir um indicador, composto de vários estágio e métodos estatísticos e se utiliza de funções de pertinência triangulares e álgebra produto-soma.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise quantitativa da produção científica recente, na busca de verificar qual a tendência atual no uso de índices voltados ao desenvolvimento urbano, analisando os componentes do índice como: dimensão, indicador, método de seleção dos indicadores, método de normalização, método de seleção e cálculo dos pesos e método de agregação.

Observou-se nos índices compostos por mais de 50 indicadores, uma tendência de apresentar dificuldade em utilizar única fonte de dados para cada indicador. Em contrapartida, em relação aos índices que são compostos por 50 indicadores ou menos, há um número significativo de estudos que utilizam única fonte de dados para cada indicador. Outro ponto importante é o esforço considerável no desenvolvimento de índices voltados para a escala municipal, observa-se para essa escala uma grande variabilidade no número de indicadores entre 11 a 183 indicadores.

Em relação a análise dos componentes do índice, diversas tendências e lacunas foram observadas: (1) na análise das dimensões, foi observado a tendência na utilização do tripé tradicional da sustentabilidade (ambiental, econômico e social). Havendo o acréscimo de outras dimensões voltadas a questão territorial da sustentabilidade urbana como exemplo: urbanização espacial, transporte, infraestrutura urbana e outros. Porém, seria necessário mais estudo para verificar as vantagens e as desvantagens de se estruturar o índice considerando somente se o tripé tradicional é suficiente, e a importância da inserção de outras temáticas. Bem como, a análise de vantagens e de desvantagens em estruturar o índice sem dimensões para caracterizar o desenvolvimento urbano sustentável; (2) No levantamento dos indicadores, de forma geral, devido à complexidade do tema sustentabilidade urbana, envolve áreas multidisciplinares; (3) Não há um consenso em relação aos critérios ou métodos utilizados entre os documentos estudados para a seleção dos indicadores. Havendo diversos pontos de vista entre os estudos analisados: (a) seleção dos indicadores por meio do conhecimento subjetivo através de especialistas, (b) as características de seleção dos indicadores e (c) seleção conjunta entre as características dos indicadores e o método participativo (subjetivo), sendo necessário

mais estudos em relação à forma de seleção dos indicadores para garantir a sua eficácia em retratar a realidade observada; (4) Observou-se uma tendência na utilização de métodos objetivos para a seleção dos pesos, no intuito de garantir menor subjetividade no processo de cálculo do índice final, tornando o peso mais objetivo e confiável. No entanto, há críticas na dificuldade de aplicabilidade dos cálculos complexos, tornando pouco prático para o uso real, sendo necessário um estudo relacionado à praticidade e à acurácia dos métodos objetivos mais simplista frente as metodologias com cálculo mais complexos, para a obtenção dos pesos; (5) Os métodos de agregação mais utilizados são os de cálculo simples, conforme já abordado no método de seleção dos pesos. É importante realizar mais estudos para verificar as vantagens e as desvantagens na utilização de métodos com cálculo de agregação da dimensão ou do índice geral mais simplista ou complexo.

Logo, ainda existem questões a serem estudadas relacionadas ao desenvolvimento de índices voltado à sustentabilidade urbana. Sendo assim, sugere-se que os estudos futuros possam refletir sobre as questões abordadas neste documento e que, diante da limitação do estudo, análises bibliométricas voltadas ao desenvolvimento urbano sustentável, possam incorporar a análise de valores de referência, contribuindo para uma discussão da eficácia e eficiência para a análise comparativa dos indicadores.

6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

BENCKR, L. R.; PEREZ, A. L. F. Análise dos principais modelos de indicadores para cidades sustentáveis e inteligentes. 2018. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/1754/1742>. Acesso em: 02 jan. 2025.

BUZASI, A.; JAGER, B. S. District-scale assessment of urban sustainability. **Sustainable Cities and Society**, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670720306090>>. Acesso em: 31 ago. 2021.

BUZASI, A.; JAGER, B. S. Exploratory analysis of urban sustainability by applying a strategy-based tailor-made weighting method. **Sustainability** (Switzerland), 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/12/6556>>. Acesso em: 02 set. 2021.

CHAN, P. Assessing sustainability of the capital and emerging secondary cities of Cambodia based on the 2018 commune database. Data, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2306-5729/5/3/79>>. Acesso: 31 ago. 2021.

DONG, L.; LONGWU, L.; ZHENBO, W.; LIANGKAN, C.; FAMING, Z. Exploration of coupling effects in the Economy–Society–Environment system in urban areas: Case study of the Yangtze River Delta Urban Agglomeration. **Ecological Indicators**, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21005239>>. Acesso em: 02 set. 2021.

FEIL, A. A. Methods of standardization, weighting and aggregation in the formation of sustainability index. **Journal on Innovation and Sustainability**, 2021. Disponível em: <<https://revistas.pucsp.br/index.php/risus/article/view/47579>>. Acesso em: 01 fev. 2023.

FELEKI, E.; VLACHOKOSTAS, C.; MOUSSIOPoulos, N. Holistic methodological framework for the characterization of urban sustainability and strategic planning. **Arabian Journal for Science and Engineering**, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261933025>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

FOUNDA, Y.; ELKHAZENDAR, D. M. A criterion for modelling the 'live-and-work' city index using sustainable development indicators. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 2019. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/19463138.2018.1556161?needAccess=true&role=button>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

GONG, Q.; CHEN, M.; ZHAO, X.; JI, Z. Sustainable urban development system measurement based on dissipative structure theory, the grey entropy method and coupling theory: A case study in Chengdu, China. *Sustainability* (Switzerland), 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/1/293>>. Acesso em: 02 set. 2021.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; RAMA, M.; CORTÉS, A.; GARCÍA-GUAITA, F.; NÚÑEZ, A.; LOURO, L. G.; MOREIRA, M. T.; FEIJOO, G. Embedding environmental, economic and social indicators in the evaluation of the sustainability of the municipalities of Galicia (northwest of Spain). *Journal of Cleaner Production*, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619321183>>. Acesso em: 31 ago. 2021.

JIAO, L.; SHEN, L.; SHUAI, C.; HE, B. A Novel Approach for Assessing the Performance of Sustainable Urbanization Based on Structural Equation Modeling: A China Case Study. *Sustainability*, 2016. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/8/9/910>>. Acesso: 01 nov. 2021.

LI, C.; LI, J. Assessing urban sustainability using a multi-scale theme-based indicator framework: A case study of the Yangtze River Delta region China. *Sustainability*, 2017. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/9/11/2072>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

LIU, S.; DING, P.; XUE, B.; ZHU, H.; GAO, J. Urban sustainability evaluation based on the DPSIR dynamic model: A case study in Shaanxi Province, China. *Sustainability*, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/18/7460>>. Acesso em: 01 set. 2021.

MANGI, M. Y.; YUE, Z.; KALWAR, S.; LASHARI, Z. A. Comparative analysis of urban development trends of Beijing and Karachi metropolitan areas. *Sustainability* (Switzerland), 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/2/451>>. Acesso em: 01 set. 2021.

MUSA, H. D.; YACOB, M. R.; ABDULLAH, A. M.; ISHAK, M. Y. Enhancing subjective well-being through strategic urban planning: Development and application of community happiness index. *Sustainable cities and Society*, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670717300501>>. Acesso: 02 set. 2023.

PHILLIS, Y. A.; KOUKOGLOU, V. S.; VERDUGO, C. Urban sustainability assessment and ranking of cities. *Computers Environment and Urban Systems*, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971516302630>>. Acesso em: 02 set. 2021.

SILVA, L. F. C.; CÂNDIDO, G. A.; LIMA, E. R. V.; SILVEIRA, J. A. R. Sistema de Indicadores de Sustentabilidade Urbana para Pequenas Cidades: proposição e aplicação no município do Conde/PB. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 2024. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/5181/5233>. Acesso em: 02 jan. 2025.

SHMELEV, E. S.; SHMELEVA, I. A. Global urban sustainability assessment: A multidimensional approach. *Sustainable Development*, 2018. Disponível em: <https://isocarp.org/app/uploads/2021/10/ISOCARP_2018_Shmelev_91-1.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2023.

SUN, X.; LIU, X.; LI, F.; TAO, Y.; SONG, Y. Comprehensive evaluation of different scale cities' sustainable development for economy. *Journal of Cleaner Production*, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615012238>>. Acesso em: 02 set. 2021.

SUN, X.; ZHANG, Z. Coupling and coordination level of the population, land, economy, ecology and society in the process of urbanization. *Measurement and spatial differentiation. Sustainability* (Switzerland), 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3171>>. Acesso em: 01 set. 2021.

TANG, J.; ZHU, HONG-LIN; LIU, Z.; JIA, F.; ZHENG, X. Urban sustainability evaluation under the modified TOPSIS based on grey relational analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1660-4601/16/2/256>>. Acesso em: 02 set. 2021.

UN HABITAT. World Cities Day. Changin the world: innovations and better life for future generations. 2019. Disponível em: <https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-09/overall_world_cities_day_2019_concept_note_0.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

YANG, Z.; YANG, H.; WANG, H. Evaluating urban sustainability under different development pathways: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region. **Sustainable Cities and Society**, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720302134>>. Acesso em: 02 set. 2021.

YI, P.; DONG, Q.; LI, W. Evaluation of city sustainability using the deviation maximization method. **Sustainability cities and society**, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670719302070>>. Acesso em: 02 ago. 2021.