



Indicadores de sustentabilidade de planejamento e gestão ambiental de cidades aplicados ao contexto de metabolismo urbano: procedimento de identificação, seleção, análise e definição

Sustainability indicators of planning and urban environmental management applied to the urban metabolism context: procedures of identification, selection, analysis and definition

Ana Beatriz Valim SUQUISAQUI^{1*}, Frederico Yuri HANAI¹

¹Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP, Brasil.

* E-mail de contato: ana.suquisaqui@estudante.ufscar.br

Artigo recebido em 25 de janeiro de 2021, versão final aceita em 8 de março de 2022, publicado em 27 de abril de 2023.

RESUMO: A urbanização vem trazendo, há muitos anos, diversos impactos, não só ao meio ambiente, mas também para a vida das pessoas. Atualmente, as preocupações com questões ambientais e a sustentabilidade levaram a sociedade a dar mais atenção para estas temáticas. A utilização de indicadores para avaliar a sustentabilidade urbana, qualidade de vida urbana, qualidade ambiental urbana e metabolismo urbano é imprescindível para a tomada de decisão, e a escolha dos mesmos deve ocorrer de forma criteriosa para um resultado confiável. Por estes motivos, o artigo teve como objetivo elaborar e empregar procedimentos de seleção e análise de indicadores, no sentido de definir e propor indicadores de sustentabilidade para aplicação no contexto de planejamento e gestão ambiental de cidades na concepção do metabolismo urbano (sob a ótica da qualidade ambiental e da qualidade de vida urbana). A pesquisa compreendeu duas principais etapas metodológicas: a elaboração de Procedimento de Análise de Indicadores – PAI; e aplicação do PAI na seleção e proposição de indicadores de sustentabilidade no contexto de planejamento e gestão ambiental de cidades. Como resultado, o artigo gerou um procedimento de análise de indicadores, contendo 10 critérios de avaliação, que classificam os indicadores em alta, média ou baixa aptidão de uso. Também foram gerados dois quadros contendo os princípios da qualidade de vida e do metabolismo urbano, que foram utilizados para a aplicação do PAI na seleção de indicadores. Os indicadores selecionados e propostos estão divididos em 17 categorias de análise. Os indicadores sugeridos e o procedimento (PAI) podem ser utilizados por gestores, agentes de administrações públicas e possibilitarão subsidiar a tomada de decisões e a implementação de políticas urbanas e ambientais.

Palavras-chave: planejamento urbano; qualidade de vida urbana; qualidade ambiental urbana; sustentabilidade urbana.

ABSTRACT: Urbanization has resulted, for many years, several impacts, not only on the environment, but also on people's lives. Currently, concerns about environmental issues and sustainability have led society to pay more attention to these themes. The use of indicators to assess urban sustainability, quality of urban life, urban environmental quality and urban metabolism is essential for decision-making, and the choice of them must occur carefully for a reliable result. For these reasons, the article aimed to develop and employ procedures for the selection and analysis of indicators, in order to define and propose sustainability indicators for application in the context of planning and environmental management of cities in the conception of urban metabolism (from the perspective of environmental quality and quality of urban life). The research comprised two main methodological steps: the elaboration of the Indicator Analysis Procedure – PAI; and application of the PAI in the selection and proposition of sustainability indicators in the context of environmental planning and management of cities. As a result, the article generated an indicator analysis procedure, containing 10 evaluation criteria, which classify the indicators as high, medium or low ability to use. Two tables were also generated containing the principles of quality of life and urban metabolism, which were used for the application of the PAI in the indicator's selection. The selected and proposed indicators are divided into 17 categories of analysis. The suggested indicators and the procedure (PAI) can be used by managers, public administration agents and will make it possible to subsidize decision-making and the implementation of urban and environmental policies.

Keywords: urban planning; quality of urban life; urban environmental quality; urban sustainability.

1. Introdução

A população urbana excedeu a população rural pela primeira vez na história em 2007, fenômeno esse de primordial importância devido aos impactos que a urbanização vem causando na qualidade de vida das pessoas (Chrysoulakis *et al.*, 2014).

Por esta razão, a preocupação decorrente das mudanças climáticas e da diminuição dos recursos naturais desperta o interesse dos governantes em desenvolver as cidades de forma mais sustentável (Marans, 2015). Para isso, Acselrad (2001) considera que a sustentabilidade não se refere apenas às questões de meio ambiente, mas também às questões econômicas, sociais e políticas, que devem estar todas relacionadas para que seja possível embasar uma discussão.

Foi neste sentido que este artigo se debruçou, levando em consideração que a qualidade ambiental

urbana e sustentabilidade urbana interferem diretamente na qualidade de vida da sociedade.

A qualidade de vida nas cidades, especialmente na dimensão ambiental, assume um importante papel na avaliação da prosperidade de áreas urbanas, já que essas duas condições geram um impacto direto na vida das pessoas, afetando sua saúde diretamente (ar, barulho, *etc*) e indiretamente (mudanças climáticas, biodiversidade, *etc*). Desta forma, se bem geridas, as áreas urbanas podem melhorar as condições ambientais e, consequentemente, a qualidade de vida (Silva, 2015).

De acordo com Alcântara & Sampaio (2020), a qualidade de vida atrelada ao bem-estar se tornou importante em discussões ecológicas e socioeconômicas e complementam que buscar o bem-estar e a qualidade de vida são desafios éticos atualmente.

A qualidade ambiental dos espaços públicos abertos dentro das cidades também tem se tornado

uma parte essencial da cultura urbana. Neste contexto, a interação entre sons, iluminação, temperatura e ar no ambiente são fatores chave para a avaliação da qualidade ambiental dos espaços (Malva *et al.*, 2015).

Com a intenção de resumir as ideias de modelagem e de avaliação dos efeitos das atividades urbanas no ambiente, Wolman (1965) desenvolveu uma discussão e propôs o conceito de Metabolismo Urbano (Wolman, 1965). Kennedy *et al.* (2007) definiu, em 2007, o Metabolismo Urbano como a soma total de técnicas e processos socioeconômicos que ocorrem nas cidades, as quais resultam em crescimento, produção de energia e eliminação de resíduos. Segundo Pierre *et al.* (2016), na prática, isto significa que o metabolismo urbano serve como um modelo de sistema que combina as atividades antrópicas (transporte, consumo de energia) e suas infraestruturas urbanas (rodovias, construções).

É neste contexto que a problemática urbana e os aspectos da sustentabilidade são a base para a identificação e criação de indicadores de sustentabilidade urbano, que possibilitam avaliar os processos de desenvolvimento e sustentabilidade das cidades (Martins & Candido, 2015).

Estes indicadores são de extrema importância para o desenvolvimento da conscientização dos problemas urbanos, para auxiliar os esforços governamentais locais em busca da sustentabilidade urbana (Michael *et al.*, 2014), e ainda são cruciais para auxiliar na definição do objetivo a ser atingido, na revisão de desempenho e na facilitação de comunicação entre o poder legislativo, os especialistas e o público (Shen *et al.*, 2010).

Com a grande quantidade de indicadores disponíveis, é importante destacar e selecionar aqueles mais importantes e relevantes. Neste contexto,

o artigo teve como objetivo elaborar e empregar procedimentos de seleção e análise de indicadores, no sentido de definir e propor indicadores de sustentabilidade para aplicação no contexto de planejamento e gestão ambiental de cidades na concepção do metabolismo urbano (sob a ótica da qualidade ambiental e da qualidade de vida urbana).

2. Metodologia

Para atingir o objetivo proposto, o presente estudo compreendeu duas etapas principais do processo metodológico:

- 1) elaboração de Procedimento de Análise de Indicadores – PAI; e
- 2) aplicação do PAI na seleção e proposição de indicadores de sustentabilidade no contexto de planejamento e gestão ambiental de cidades. Estas etapas se desenvolveram por quatro fases de aplicação da pesquisa (apresentadas na Figura 1), que estão descritas a seguir.

2.1. Etapa 1: elaboração do procedimento de análise de indicadores (PAI)

A primeira etapa da pesquisa correspondeu à elaboração e definição de Procedimento para Análise de Indicadores (PAI), por meio de processo realizado em quatro fases.

A primeira fase desta etapa envolveu a realização do Levantamento Documental (LD) e da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), com a finalidade de identificar artigos, trabalhos e documentos que apresentassem aspectos e critérios para a seleção e análise de indicadores.

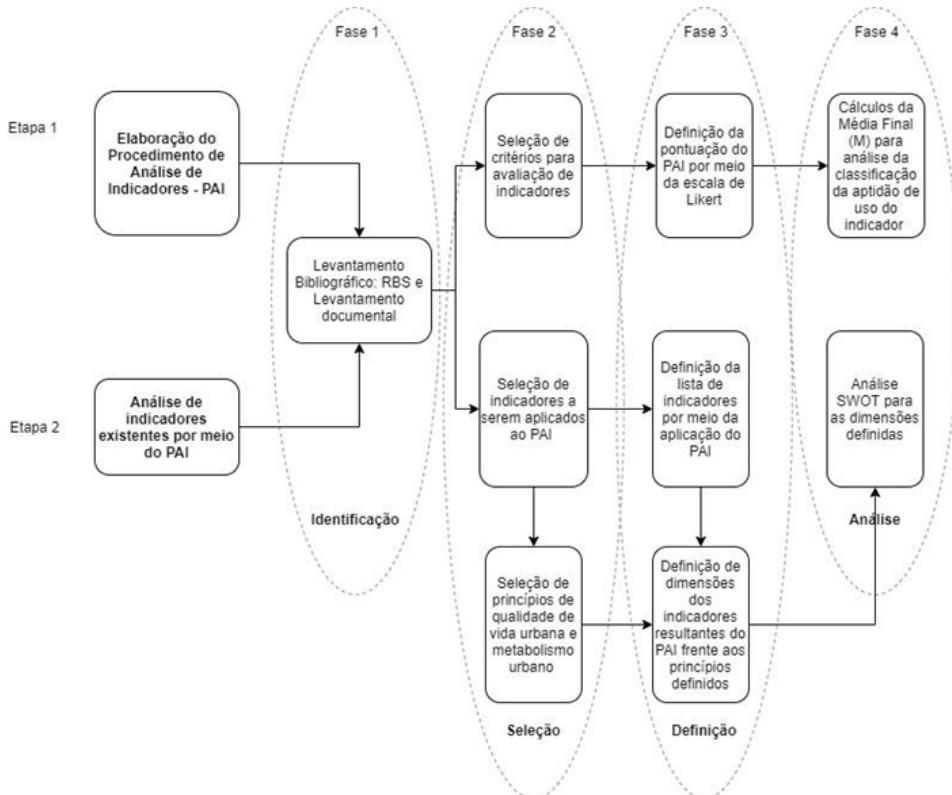


FIGURA 1 – Etapas e fases metodológicas desenvolvidas no trabalho.

O Levantamento Documental (LD) ocorreu por meio da busca de informações em documentos, relatórios, teses, dissertações, estudos, entre outros arquivos, e a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) empregou o protocolo sistematizado de pesquisa em bases de dados científicos baseado em Castillo-Ospina (2018), adotando-se o *Scopus* e a *Web of Science* para a realização da busca de artigos científicos.

As palavras-chave e expressões de busca (*strings*) utilizadas na pesquisa foram definidas em inglês com o intuito de alcançar maior quantidade de resultados e corresponderam aos seguintes temas:

indicadores de sustentabilidade urbana; indicadores de qualidade de vida urbana; indicadores de qualidade ambiental urbana; e indicadores de metabolismo urbano. Todos estes termos foram combinados com a palavra “critério”, com o objetivo de identificar critérios específicos para a análise da qualidade de indicadores.

Por meio da leitura dos resumos de cada uma das publicações encontradas na RBS, buscou-se identificar aqueles que apresentavam informações referentes aos temas pesquisados e indicadores e/ou critérios relacionados aos temas. Somente artigos

com essas informações foram selecionados para uma posterior leitura completa.

A partir dos documentos, textos e artigos científicos identificados e selecionados pelo LD e pela RBS, iniciou-se a segunda fase desta etapa, com o objetivo de selecionar critérios para análise de indicadores. Foram definidos e estabelecidos critérios para análise de indicadores em 10 categorias

(Relevância, Utilidade, Entendimento, Validez, Concepção, Temporalidade, Resposta às Mudanças, Reação/Predição, Mensurabilidade e Espacialidade/Abrangência). Os critérios estão organizados em três grupos (Importância, Conceituação e Exequibilidade) de acordo com as características de análise dos indicadores, conforme ilustra a Tabela 1.

TABELA 1 – Critérios para avaliação de indicadores.

Grupo	Categoria	Critérios	Características
Importância	Relevância	Satisfazer a necessidade dos usuários; significativos.	O indicador deve prover informação para os usuários e para determinar objetivos e metas.
	Utilidade	Ser útil.	O indicador deve ser útil e pertinente do ponto de vista da pesquisa e do objetivo pelo qual ele será utilizado.
Conceituação	Entendimento	Não ser ambíguo; foco prático; fácil interpretação.	O indicador deve ser simples e claro, seu significado deve ser de fácil compreensão, também por não especialistas.
	Validez	Ser confiável; ter validade.	O indicador deve ser o mais confiável possível e possuir validade científica e analítica.
Exequibilidade	Concepção	Conceptualmente bem fundamentado; escopo adequado. Perspectiva sistêmica; visível; perceptível e integrado.	O indicador deve ter fundamento teórico de boa qualidade em termos técnicos e científicos, baseado em um conhecimento consistente do sistema investigado e de seus atributos.
	Temporalidade	Hábeis para mostrar tendência ao longo do tempo.	O indicador deve ser capaz de apresentar comparações ao longo de uma série temporal (esta característica amplia elementos de referência, consolidando a aplicação de metodologias de obtenção de dados e generalização do seu uso).
	Resposta às mudanças	Reativos; sensível à resposta a alterações; ser eficiente e eficaz.	O indicador deve sinalizar as mudanças de tendência no ambiente ou nas atividades humanas relacionadas, preferencialmente em curto prazo.
	Reação/Predição	Ter ressonância.	O indicador deve possuir a capacidade de despertar interesse e gerar ações dos agentes envolvidos.
	Mensurabilidade	Ser mensurável, comparável e viável.	O indicador deve ser apresentado de tal forma que permita comparações entre diferentes situações e passível de ser aplicável, com baixo custo. Fácil de medir.
Exequibilidade	Espacialidade/ Abrangência	Abranger aspectos relacionados à escala considerada.	O indicador deve estar apto a ser utilizado de acordo com abrangência e a escala estudada.

FONTE: Autores, 2022.

A terceira fase referiu-se ao procedimento de pontuação atribuída aos indicadores, a partir dos critérios estabelecidos. No presente estudo foi utilizada a pontuação pela escala de Likert, geralmente adotada para medir atitudes, fornecendo uma gama de respostas sobre uma questão ou afirmação.

A escala de Likert demonstra o grau de concordância ou discordância sobre um item a ser analisado, atribuindo-lhe um número a partir de uma escala que reflete o direcionamento de uma qualidade a ser atribuída. Na presente pesquisa, a escala de Likert foi aplicada a cada categoria de critérios dos indicadores, de forma que a variação ordinal empregou valores de um a cinco:

Valor 1: se o indicador não contempla a categoria de critérios;

Valor 2: se o indicador contempla pouco a categoria de critérios;

Valor 3: se o indicador contempla razoavelmente a categoria de critérios;

Valor 4: se o indicador contempla satisfatoriamente a categoria de critérios;

Valor 5: se o indicador contempla completamente a categoria de critérios.

Por fim, na quarta fase da elaboração do PAI foram estabelecidos os cálculos das médias das pontuações pela escala de Likert e a definição da classificação do indicador quanto à sua aptidão de uso.

O cálculo das médias dos valores da escala de Likert foi obtido a partir de dois procedimentos:

I) Média aritmética dos valores atribuídos aos critérios em cada Grupo/Enfoque dos indicadores (importância, conceituação e exequibilidade);

II) Média aritmética dos valores resultantes nos três Grupo/Enfoques.

O valor obtido no procedimento II supracitado foi denominado Média Final (M) e teve como objetivo refletir a qualidade do indicador, frente aos critérios analisados. A partir da Média Final, foi realizada a classificação do indicador, de acordo com a escala de resultados possíveis (aptidão alta, média ou baixa de uso do indicador), conforme apresentada a seguir na Tabela 2.

Pela classificação do indicador quanto à sua aptidão de uso, sugere-se que os indicadores com resultado de baixa aptidão sejam descartados e, portanto, não devam ser utilizados para a finalidade à qual se deseja. Para os indicadores com resultado de média aptidão, recomenda-se que os mesmos sejam revisados, readequados e/ou redefinidos para que possam ser utilizados. E, por fim, os indicadores com resultado de alta aptidão podem ser prontamente adotados e empregados.

Finalmente, a partir de todas as fases definidas nesta primeira etapa da pesquisa, concebeu-se o PAI para ser utilizado por qualquer agente de interesse, com distintas finalidades de análise dos indicadores. No presente trabalho, o PAI subsidiou a proposição de indicadores de sustentabilidade definidos no contexto de planejamento e gestão ambiental de cidades.

2.2. Etapa 2: definição e proposição de indicadores de sustentabilidade aplicados ao contexto de planejamento e gestão ambiental de cidades

TABELA 2 – Classificação do indicador quanto à sua aptidão de uso.

Aptidão	Pontuação	Grau de aptidão de uso	Definição
Baixa	$1 < M < 3$	Indicador inapto para utilização	Implica que o indicador não apresenta requisitos para ser utilizado e, portanto, deve ser descartado.
Média	$3 \leq M < 4$	Indicador com possibilidade de ser adotado após aprimoramento	Implica que o indicador atende parcialmente a requisitos e apresenta potencialidades para ser utilizado, desde que o mesmo seja adaptado e/ou redefinido.
Alta	$M \geq 4$	Indicador apto para ser utilizado	Implica que o indicador apresenta requisitos suficientes para ser utilizado.

FONTE: Autores, 2022.

A segunda etapa da pesquisa teve como objetivo analisar a qualidade de indicadores existentes no contexto de planejamento e gestão ambiental de cidades, por meio do PAI, a fim de gerar uma listagem de indicadores passíveis de serem aplicados, atendendo aos princípios da qualidade de vida urbana e do metabolismo urbano.

Para isso, adotando também o Levantamento Documental (LD) e Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) realizados na primeira fase da pesquisa, foram identificados artigos, trabalhos e documentos que apresentassem indicadores já existentes de quatro temas que englobam questões relacionadas ao planejamento urbano, a saber: indicadores de sustentabilidade urbana; indicadores de qualidade de vida urbana; indicadores de qualidade ambiental urbana; e indicadores de metabolismo urbano.

Ademais, a primeira fase da presente pesquisa permitiu a identificação de aspectos, princípios e diretrizes relacionados à qualidade de vida urbana e ao metabolismo urbano, os quais foram analisados, discutidos, adequados, elaborados e propostos ao objetivo da pesquisa. Os princípios definidos basearam-se na revisão da literatura e também na

indicação de sugestões por especialistas em indicadores, discutidos especificamente em reuniões presenciais.

Os quatro temas escolhidos para subsidiar a busca de artigos científicos na RBS se deram por conta de sua relação com o planejamento urbano e gestão ambiental de cidades. A sustentabilidade urbana é um tema imprescindível para possibilitar o desenvolvimento das cidades com qualidade de vida e sem o esgotamento de recursos (Nunes *et al.*, 2006). A qualidade de vida nas cidades, sobretudo na dimensão ambiental, assume um importante papel na avaliação da prosperidade de áreas urbanas, uma vez que essas duas condições geram um impacto direto na qualidade de vida das pessoas. Portanto, se bem geridas, as áreas urbanas podem melhorar as condições ambientais e, consequentemente, a qualidade de vida das pessoas (Silva, 2015).

O desenvolvimento sustentável depende de um melhor entendimento de como o uso dos recursos naturais se relacionam com as atividades urbanas. O fornecimento de uma avaliação quantitativa dessa relação é a função e ambição do emergente campo

de estudo conhecido como metabolismo urbano (ADB, 2014).

Na segunda fase, foram selecionados todos os indicadores encontrados no levantamento bibliográfico. Os mesmos foram listados para serem utilizados na terceira fase.

Na terceira fase, o PAI foi aplicado aos indicadores selecionados, com o objetivo de definir uma lista de indicadores de alta e média aptidão de uso para aplicação ao contexto de planejamento urbano. A aplicação do PAI foi realizada individualmente pelos autores e por outros três especialistas em indicadores independentes (não fazem parte da coautoria deste artigo), com o intuito de permitir diferentes pontos de vista e discussões das divergências em relação aos critérios e às distintas notas atribuídas aos indicadores, que foram tabuladas em planilhas eletrônicas.

Conforme as instruções do PAI, os indicadores que receberam classificação de baixa aptidão foram

excluídos, os de média aptidão foram revisados, readequados e/ou redefinidos e, por fim, os indicadores com resultado de alta aptidão foram prontamente utilizados. Essa fase teve como resultado uma listagem contendo os indicadores resultantes do PAI.

Ainda, na terceira fase foram definidas 17 dimensões que englobam diversos temas correspondentes ao contexto urbano, as quais permitiram que os indicadores fossem categorizados, de acordo com o tema abordado. Essas dimensões foram definidas com base nos princípios definidos para a qualidade de vida urbana e metabolismo urbano, identificados na primeira fase da pesquisa. A definição e a corroboração das dimensões ocorreram por meio de consenso em reunião dos especialistas em indicadores.

Finalmente, a quarta fase compreendeu a análise *SWOT* para cada dimensão definida, considerando os indicadores contemplados, com o intuito de observar a suficiência ou não, de indicadores

TABELA 3 – Definição da Matriz *SWOT*.

	Fatores Positivos	Fatores Negativos
	<i>Strengths (Força)</i>	<i>Weaknesses (Fraquezas)</i>
Fatores internos	Situações ou aspectos que podem ser internamente controláveis e exercem influência positiva na execução de atividades do município. Exemplos: boas condições de infraestrutura, pessoal qualificado, tecnologia acessível.	Situações ou aspectos controláveis que causam desvantagem operacional ao poder público municipal. Representam as fragilidades e as vulnerabilidades do processo. Exemplos: falta de recursos em geral, desconhecimento de problemas operacionais e gerenciais.
Fatores externos	<i>Opportunities (Oportunidades)</i> Situações ou aspectos incontroláveis, mas que podem favorecer as atividades desde que conhecidas. Exemplos: dados populacionais, instrumentos legais, usuários, participação social, parcerias.	<i>Threats (Ameaças)</i> Situações ou aspectos incontroláveis que dificultam suas ações estratégicas, mas que podem ser evitadas se forem conhecidas. Exemplo: índices econômicos elevados, competitividade, capacidade operacional, custos.

FONTE: Adaptado de Chiavenato & Sapiro (2003), Moraes (2008), Rezende (2008) e Oliveira (2014).

para cada uma das dimensões. A análise *SWOT* (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) foi idealizada por Albert Humphrey entre os anos 1960 e 1970 (Gürel & Tat, 2017) e é a mais utilizada em empresas de diversos países, independentemente de seu nível de desenvolvimento e de seu porte comercial (Qehaja *et al.*, 2017).

A Tabela 3 ilustra a definição da matriz *SWOT*.

3. Resultados e discussão

3.1. Identificação de indicadores de sustentabilidade aplicados ao contexto de planejamento e gestão ambiental de cidades

Ao todo, foram encontrados 329 indicadores de sustentabilidade para aplicação no contexto de planejamento e gestão ambiental de cidades na concepção de metabolismo urbano (sob a ótica da qualidade ambiental e da qualidade de vida urbana).

Deste total, 43 indicadores foram excluídos por obter classificação de baixa aptidão de uso e aplicação. Em contrapartida, 84 indicadores obtiveram classificação de alta aptidão, e, portanto, foram prontamente considerados para aplicação. A classificação que obteve maior quantidade de indicadores foi a de média aptidão, totalizando 202 indicadores, os quais foram revisados, readequados e/ou redefinidos pelos especialistas participantes da pesquisa.

A Tabela 4 apresenta a quantidade de indicadores encontrados para cada um dos temas definidos e os seus respectivos resultados de aptidão pela aplicação do PAI.

Os resultados da aplicação do PAI mostram que a maioria dos indicadores identificados correspondem à classificação de Média Aptidão, seguido pelos indicadores classificados como Alta Aptidão. O tema de “qualidade de vida urbana” obteve a maior quantidade de indicadores classificados em Alta Aptidão. Assim, em todos os temas pesquisados

TABELA 4 – Quantidade e porcentagem de indicadores encontrados por temas Tema.

	Quantidade de indicadores	Quantidade e Porcentagem de Indicadores com Resultado de Alta Aptidão	Quantidade e Porcentagem de Indicadores com Resultado de Média Aptidão	Quantidade e Porcentagem de Indicadores com Resultado de Baixa Aptidão
Indicadores de sustentabilidade urbana	165	33 (20%)	103(63%)	29(17%)
Indicadores de qualidade de vida urbana	66	31 (47%)	28(43%)	7(10%)
Indicadores de qualidade ambiental urbana	21	2(9%)	16(77%)	3(14%)
Indicadores de metabolismo urbano	77	18(24%)	55(71%)	4(5%)
Total	329	84	202	43

FONTE: Adaptado de Chiavenato & Sapiro (2003), Morais (2008), Rezende (2008) e Oliveira (2014).

dos, poucos foram os indicadores que não atenderam aos critérios de aptidão de uso, sendo então excluídos e não considerados para uso.

3.2. Análise das relações dos indicadores identificados com os princípios de qualidade de vida urbana e de metabolismo urbano

Por meio do levantamento bibliográfico (LD e RBS – fase 1) foram identificados trabalhos e publicações que subsidiaram a seleção de indicadores, assim como foram estudados os aspectos e princípios relacionados aos temas de qualidade de vida urbana e metabolismo urbano, apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Foi realizada uma análise quanto ao atendimento dos princípios de qualidade de vida urbana e metabolismo urbano, em cada uma das dimensões

de indicadores, assim como a análise *SWOT*, com a intenção de verificar a suficiência (ou inexistência) de indicadores em cada dimensão, gerando demandas de estudos e pesquisas sobre possíveis indicadores para o atendimento dos referidos princípios.

Observou-se que, a partir das *strings* utilizadas para a busca de informações, não houveram indicadores que contemplassem alguns dos princípios de qualidade de vida urbana e metabolismo urbano. Desta forma, as dimensões definidas na pesquisa que estão atreladas aos referidos princípios devem ser estudadas para que novos indicadores possam compor essas dimensões, são elas “Águas pluviais”, “Compactação de cidades”, “Bem-estar”, “Qualidade ambiental”, “Interação de ciclos e fluxos”, “Efeitos e impactos”, “Predição” e “Armazenamento”.

No que se refere a análise *SWOT*, foi possível observar que, para grande parte das dimensões, as

TABELA 5 – Princípios da qualidade de vida urbana.

Princípios	Descrição
Princípio do acesso às áreas verdes	A população deve ter fácil acesso a áreas verdes.
Princípio da equidade na distribuição e no acesso da população a certos serviços, instalações e oportunidades	Toda a população deve ter acesso a serviços, instalações e oportunidades.
Princípio da qualidade ambiental, na perspectiva do desenvolvimento humano sustentável	As atividades industriais devem atender legislações e resoluções de forma a respeitar as condições do meio ambiente de forma a manter sua qualidade.
Princípio da acessibilidade aos serviços sociais	Toda a população deve ter acesso a serviços sociais
Princípio da acessibilidade aos serviços de saúde	Toda a população deve ter acesso a serviços de saúde como hospitais, postos de saúde, médicos, entre outros.
Princípio da inclusão e responsabilidade social (acessibilidade)	O planejamento urbano deve ocorrer de tal forma a atender a população portadora de algum tipo de deficiência, assim como deve oferecer oportunidades a essas pessoas.
Princípio do acesso à moradia	Toda a população deve ter acesso a moradia de qualidade.
Princípio da qualidade dos espaços	Os espaços públicos devem ter qualidade para atender à população.
Princípio do acesso ao transporte público (acessibilidade)	Toda a população deve ter acesso ao transporte público assim como os transportes devem ter adaptações para atender a parcela da população portadora de algum tipo de deficiência.

FONTE: Autores, 2022 baseado em Nahas (2002); Wendel (2012); Turkoglu (2015); Von Wirth (2015); Pan *et al.* (2016); e em discussões, sugestões e recomendações dos participantes da pesquisa.

TABELA 6 – Princípios do metabolismo urbano.

Princípios	Descrição
Princípio da quantificação de entradas e saídas de energia	As entradas e saídas de energia devem ser contabilizadas e quantificadas.
Princípio da quantificação de entradas de água e saída de efluentes líquidos	As entradas de água para os diversos usos devem ser contabilizadas e quantificadas, assim como as saídas de efluentes líquidos em suas diversas fontes.
Princípio da quantificação de entradas de recursos	As entradas de recursos, em suas diversas origens, devem ser contabilizadas.
Princípio da quantificação de resíduos sólidos	Os resíduos sólidos devem ser contabilizados e quantificados de acordo com as diferentes formas de disposição.
Princípio da quantificação da poluição do ar	A poluição do ar deve ser quantificada de acordo com os materiais e partículas que a compõem.
Princípio do armazenamento de energia, água, nutrientes, materiais e resíduos	As formas de armazenamento de energia, água, nutrientes, materiais e resíduos devem ser contabilizados e quantificados.
Princípio da interação dos ciclos e fluxos de matéria e energia	Os ciclos e fluxos de matéria e energia devem ser vistos de forma sistêmica e não individual.
Princípio da identificação e consideração dos efeitos de pressão, impactos e adversidades	As pressões, impactos e adversidades causadas no meio ambiente, devem ser identificados e levados em consideração para a análise do metabolismo urbano.
Princípio da reação, resposta e resiliência frente às pressões, interferências e impactos (consideração pelos diferentes impactos na biodiversidade)	Deve haver formas de resposta, reação e resiliência quando as pressões e interferências impactarem na biodiversidade.
Princípio do uso e ocupação do solo	O uso e ocupação do solo devem ser identificados para que a tomada de decisões ocorra de forma eficiente.
Princípio da utilização de Energia Renovável	As fontes de energia renováveis devem ter prioridade de utilização, assim como o poder público deve oferecer esse tipo de energia à população.

FONTE: Autores, 2022. Baseado em Kennedy *et al.* (2010); Pinceti *et al.* (2012); ADB (2014) e em discussões, sugestões e recomendações dos participantes da pesquisa.

Oportunidades foram o “aprimoramento e definição de novos indicadores”, enquanto que as Ameaças, na maioria das situações, esteve relacionada à “dificuldade de estabelecimento de padrões de comparação”.

Além disso, algumas dimensões não contemplaram indicadores importantes relacionados ao tema da mesma, e, portanto, isso se tornou uma ameaça do ponto de vista da pesquisa. Desta forma, baseado na análise SWOT e nos princípios definidos,

foi possível observar indicadores ausentes nestas dimensões.

Para a dimensão “Desenvolvimento urbano e habitação”, houve ausência de indicadores relacionados à qualidade das moradias e dos espaços públicos, ausência de indicadores relacionados à distribuição e acesso igual de determinados serviços para toda população e, por fim, indicadores que contemplam aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo. Já na dimensão “Cidadania, participação social e interações institucionais regionais”, houve

a necessidade de maior quantidade de indicadores relacionados à participação popular, não somente em audiências públicas.

Para a dimensão “Desenvolvimento social e econômico”, as maiores demandas são voltadas para a definição de novos indicadores relacionados à inclusão social, enquanto que para a dimensão “Segurança pública e segurança a riscos ambientais”, a demanda se concentra em indicadores relacionados aos aspectos de riscos ambientais e acidentes.

A dimensão “Cultura” tem deficiência quanto aos indicadores relacionados ao acesso à cultura, por exemplo sob a perspectiva financeira. Em contrapartida, as dimensões “Energia” e “Água”, tem como deficiências a ausência de indicadores que tratam das saídas de energia do sistema e indicadores relacionados à entrada de águas pluviais no sistema, respectivamente.

Por fim, nas dimensões “Conforto urbano” e “Recursos e materiais” suas deficiências estão voltadas para a ausência de indicadores relacionados à poluição visual e de indicadores relacionados a outros tipos de recursos e materiais, respectivamente.

Desta forma, os indicadores selecionados, analisados e listados em diferentes dimensões podem servir de subsídio às administrações públicas no que tange ao planejamento urbano. Além disto, a partir da matriz *SWOT* realizada para cada dimensão, foi possível observar quais delas ainda possuem deficiência quanto à existência de indicadores, podendo servir de base para futuras pesquisas.

3.3. Indicadores definidos de sustentabilidade urbana, de qualidade de vida urbana, qualidade ambiental urbana e metabolismo urbano para aplicação ao contexto de planejamento e gestão ambiental de cidade frente aos princípios definidos

Os 286 indicadores selecionados pelo PAI, que obtiveram as classificações de Alta e Média Aptidão (com as necessárias adequações), estão listados e categorizados em 17 dimensões de planejamento e gestão ambiental de cidades, conforme apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 – Indicadores de classificação alta e média aptidão divididos em dimensões de planejamento e gestão ambiental de cidades.

Dimensões	Indicadores
Desenvolvimento urbano e habitação	Porcentagem de área de assentamentos informais
	Porcentagem de áreas planejadas pela área total
	Porcentagem de área urbanizada
	<i>Déficit</i> habitacional
	Tamanho da área de assentamentos informais como porcentagem da área da cidade e da população
	Porcentagem de áreas de <i>brownfield</i> áreas abandonadas
	Número médio de moradores por residência

	Porcentagem de áreas contaminadas e abandonadas
	Aumento médio populacional por ano
	Porcentagem de habitantes com acesso a 500 metros de proximidade de mercados
	Porcentagem da população urbana que vive em favelas
	Existência de políticas, planos, programas e projetos para o desenvolvimento de expansão urbana
Cidadania, participação social e interações institucionais regionais	Porcentagem média anual da participação da comunidade em audiências públicas
	Existência de políticas, planos, programas e projetos para o incentivo da participação social
	Porcentagem da população com empregos informais
Desenvolvimento social e econômico	Taxa de desemprego
	Porcentagem da população com acesso a meios de comunicação (correio, internet e telefonia fixa e móvel)
	Empregos informais
	Renda per capita
	Existência de políticas, planos, programas e projetos para erradicação da pobreza
	Porcentagem da população abaixo da linha de pobreza (1,25 dólar ou 85 reais mensais)
	Existência de políticas, planos, programas e projetos de incentivo a economias locais
	Porcentagem de áreas verdes per capita
Áreas naturais e áreas de Lazer	Porcentagem de habitantes com acesso a 500 metros de proximidade de áreas verdes
	Porcentagem de habitantes com acesso a 500 metros de proximidade de áreas de lazer
	Quantidade de parques por 1000 habitantes
	Área em metros quadrados, de espaços públicos de recreação cobertos per capita
	Porcentagem de áreas protegidas
	Porcentagem de terras cobertas por florestas
	Existência de políticas, planos, programas e projetos para a proteção de áreas naturais
	Existência de políticas, planos, programas e projetos para o Implantação de áreas verdes e de lazer
	Porcentagem de área per capita de instalações de recreação em espaços públicos
Segurança pública e segurança a riscos ambientais	Número de homicídios a cada 1000 habitantes
	Taxas de ocorrências de violência doméstica
	Taxas de ocorrências de roubos e furtos

	Existência de políticas, planos, programas e projetos para segurança pública da população
	Número de bombeiros por 1000 habitantes
	Número de mortes relacionadas a incêndios por 1000 habitantes
	Número de agentes e polícia por 1000 habitantes
	Tempo de resposta de serviços de emergência em relação ao início da chamada
	Existência de políticas, planos, programas e projetos de acesso a serviços de emergência num raio de 500 metros
	Número de mortes relacionadas a desastres naturais por 1000 habitantes
	Taxas de ocorrências de desastres
	Existência de políticas, planos, programas e projetos de prevenção de desastres e instrumentos de mitigação
	Taxa de crimes violentos a cada 1000 habitantes
Transporte	Número de fatalidades de trânsito a cada 1000 habitantes
	Existência de políticas, planos, programas e projetos para acessibilidade nos transportes públicos
	Número anual de viagens em transporte público per capita
	Tempo médio de espera de transporte público por linhas
	Número de linhas de transporte público a cada 1000 habitantes
	Número de transportes públicos com acessibilidade a cada 1000 habitantes
	Idade média da frota do transporte público
	Porcentagem de usos em cada tipo de transporte
	Número de acidentes em transportes públicos a cada 1000 habitantes
	Velocidade média de viagem nas vias primárias durante o horário de pico
	Porcentagem de habitantes com acesso a 500 metros de proximidade do transporte público
	Extensão do sistema de transporte em KM a cada 1000 habitantes
Saúde	Expectativa de vida no nascimento
	Porcentagem da população imunizada contra doenças infecciosa por faixa etária
	Expectativa média de vida
	Taxa de mortalidade
	Taxa de mortalidade de crianças menores de cinco anos a cada 1000 nascidos vivos

	Número de médicos por 1000 habitantes
	Porcentagem de habitantes com acesso a 500 metros de proximidade de postos de saúde
	Número de estabelecimentos de saúde a cada 1000 habitantes
	Porcentagem de habitantes com acesso a 500 metros de proximidade de farmácias
	Número de leitos hospitalares por 1000 habitantes
	Existência de políticas, planos, programas e projetos para atendimento à saúde a toda população
	Taxa de suicídio
	Número de estabelecimentos culturais a cada 1000 habitantes
Cultura	Existência de políticas, planos, programas e projetos de incentivo a participação de eventos culturais
	Porcentagem de habitantes com acesso a 500 metros de proximidade de espaço cultural
	Porcentagem de estudantes com ensino primário completo
	Porcentagem de crianças que completam 1º e 2º graus
	Porcentagem de crianças em idade escolar matriculadas na escola
	Proporção de estudantes/professores
	Porcentagem da população com acesso a formação básica
Educação	Porcentagem da população com acesso a formação técnica
	Porcentagem da população com acesso a formação universitária e tecnológica
	Existência de políticas, planos, programas e projetos de acesso à educação a toda população
	Número de escolas a cada 1000 habitantes
	Porcentagem de habitantes com acesso a 500 metros de proximidade de escolas
	Porcentagem de estudantes com ensino secundário completo
	Consumo elétrico residencial (%)
	Consumo elétrico comercial/Institucional (%)
	Consumo elétrico industrial (%)
Energia	Consumo elétrico com transporte (%)
	Consumo residencial de energia estacionária %
	Consumo comercial/institucional de energia estacionária

	Porcentagem de uso de fontes de biomassa, hidrelétrica, biodiesel, etanol
	Porcentagem de uso de fontes de combustíveis fósseis, carvão mineral
	Porcentagem de uso de fontes de energia nuclear
	Porcentagem de uso de fontes solares, eólicas e marés
	Porcentagem da energia total proveniente de fontes renováveis, como parte do consumo total de energia da cidade
	Porcentagem de fontes de energia renovável do total de energia usada
	Existência de políticas, planos, programas e projetos de implantação de fonte de energia renovável
	Existência de políticas, planos, programas e projetos de economia de energia
	Porcentagem de população urbana com serviço elétrico autorizado
	Número e duração das interrupções elétricas por ano por cliente
	Porcentagem de habitantes da cidade com fornecimento regular de energia elétrica
	Consumo de energia de edifícios públicos por ano (kWh/m ²)
Água	Consumo doméstico total de água per capita (litros por dia)
	Porcentagem de perdas de água na rede de distribuição
	Porcentagem da quantidade de água subterrânea na captação para abastecimento de água
	Número de interrupções no serviço de água
	Porcentagem da população da cidade com serviço de abastecimento de água potável
Água	Porcentagem da população da cidade com acesso sustentável a uma fonte de água adequada para o consumo
	Demanda de água para abastecimento por categorias de uso
	Porcentagem da população urbana com fornecimento de serviço de água potável
	Consumo de água para abastecimento por categorias de uso
	IQA (Índice de Qualidade de Água)
	Existência de políticas, planos, programas e projetos para utilização justa e racional da água
Conforto urbano	Existência de políticas, planos, programas e projetos para diminuição da poluição auditiva
	Porcentagem da população exposta a alto nível de ruído (80 db)
	Existência de ilhas de calor
	Existência de planos políticas, planos, programas e projetos para melhoria do conforto térmico

	Volume de águas residuárias
	Carga de águas residuais DBO
Esgoto	Existência de políticas, planos, programas e projetos de acesso a esgoto sanitário para toda população
	Porcentagem da população urbana com atendimento ao sistema de tratamento de esgotos
	Porcentagem da população urbana com atendimento ao sistema de coleta
	Quantidade de alimento produzido per capita
Recursos e materiais	Quantidade de alimento consumido per capita
	Existência de políticas, planos, programas e projetos de segurança alimentar
	Concentração de material particulado fino (PM 2.5)
	Quantidade de emissões de gases de efeito estufa
Qualidade do ar	Número de vezes que o valor máximo dos poluentes atmosféricos é excedido
	Concentração de material particulado (PM 10)
	Existência e nível de implementação de plano de gerencialmente da qualidade do ar
	Porcentagem de resíduos sólidos dispostos inadequadamente
	Porcentagem de resíduos sólidos dispostos em aterros sanitários/incinerados
	Porcentagem de resíduos com tratamento e disposição adequada
Resíduos sólidos	Porcentagem de população urbana com coleta regular e disposição adequada de resíduos sólidos (domiciliar)
	Total de coleta de resíduos sólidos municipais per capita
	Existência de políticas, planos, programas e projetos para destinação adequada de resíduos e incentivo a coleta seletiva
	Porcentagem de resíduos sólidos urbanos que são reciclados
Águas pluviais	Não foram identificados indicadores sobre águas pluviais.
Compactação de cidades	Não foram identificados indicadores sobre compactação da cidade.
Bem-estar	Não foram identificados indicadores sobre bem-estar.
Qualidade Ambiental	Não foram identificados indicadores sobre qualidade ambiental.
Interação de ciclos e fluxos	Não foram identificados indicadores sobre interação de fluxos e ciclos.
Efeitos e impactos	Não foram identificados indicadores sobre efeitos e impactos.
Predição	Não foram identificados indicadores sobre predição.
Armazenamento	Não foram identificados indicadores sobre armazenamento.

FONTE: Autores, 2022.

4. Considerações gerais

A partir dos resultados da pesquisa, foi possível constatar que, no que se refere à quantidade de artigos e publicações encontrados pelo LD e RBS, o tema de “indicadores de sustentabilidade urbana” apresentou maior quantidade de trabalhos identificados em relação aos outros temas pesquisados (“indicadores de qualidade de vida urbana”; “indicadores de qualidade ambiental urbana”; e “indicadores de metabolismo urbano”). Essa quantidade maior de artigos encontrados pode ser explicada pela maior familiarização da sociedade em relação a esse assunto, pois atualmente as questões de sustentabilidade urbana têm sido bastante estudadas.

No que se refere aos temas abordados pelos indicadores, foi possível observar que, ao considerar todos os indicadores identificados nos quatro temas, muitos aspectos interessantes e pertinentes foram contemplados pela presente pesquisa, como aspectos sociais, ambientais, econômicos e culturais. Também foi possível verificar que ainda é escassa a quantidade de trabalhos publicados contendo indicadores de metabolismo urbano, principalmente em publicações nacionais, indicando-se a necessidade de incentivar e aprofundar pesquisas sobre Metabolismo Urbano, devido à importância de estudos sobre esse tema.

A pesquisa gerou duas grandes contribuições no âmbito de indicadores. A primeira foi a elaboração de um procedimento para análise de indicadores (PAI), contemplando uma lista de critérios relevantes a serem utilizados, principalmente pela necessidade de confiabilidade que os indicadores devem apresentar ao serem adotados. A segunda contribuição refere-se à definição preliminar de

indicadores passíveis de serem aplicados ao contexto de planejamento urbano, gerando uma lista de indicadores estudados, analisados e selecionados em 17 dimensões relacionadas aos princípios de qualidade de vida urbana e de metabolismo urbano.

A robustez de aplicação do PAI está na sua quantidade de critérios, que foram estudados, selecionados e analisados por especialistas em indicadores. Ressalta-se a importância da realização da pesquisa a partir das análises dos indicadores com distintos especialistas em indicadores, uma vez que a interdisciplinaridade alcançada pelos diferentes pontos de vista possibilitou visões diferentes para a seleção dos indicadores. A principal limitação do PAI ainda é a necessidade de um procedimento para sua validação, uma vez que somente os próprios pesquisadores utilizaram o procedimento, sugerindo-se, portanto, a realização de futuras pesquisas para o procedimento de validação e a sua utilização.

Os indicadores sugeridos podem ser utilizados por gestores e agentes de serviços e administrações públicas que possibilitarão subsidiar a tomada de decisões e a implementação de políticas urbanas e ambientais. Os indicadores listados podem ser usados para diferentes finalidades e as dimensões definidas serem complementadas com novos indicadores, principalmente para aquelas que ainda não são atendidas por indicadores e que requerem novos estudos para sua aplicação.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi desenvolvida com o financiamento da FAPESP.

Referências

-
- Acselrad, H. *A duração das cidades: sustentabilidade e risco nas políticas urbanas*. Rio de Janeiro: DP&A, 2001
- ADB - Asian Development Bank. *Urban metabolism of six Asian cities*. 2014. Disponível em: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/59693/urban-metabolism-six-asian-cities.pdf>
- Alcântara, L. C. S.; Sampaio, C. A. C. Indicadores de bem viver: pela valorização de identidades culturais. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 53, 78-101, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/62963/40559>
- Castillo-Ospina, D. A. Guia para a realização de uma revisão sistemática de indicadores. In: *Indicadores para a integração da gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo, Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)* - UFSCar, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/10652>
- Chiavenato, I.; Sapiro, A. *Planejamento estratégico: fundamentos e aplicações da intenção aos resultados*. Rio de Janeiro: Elsevier Campus, 2. ed., 2009.
- Chrysoulakis, N. et al. A conceptual list of indicators for urban planning and management based on earth observation. *Geo-Inf*, 3, 980 – 1002, 2014. doi: 10.3390/ijgi3030980
- Gürel, E.; Tat, M. Swot analysis: a theoretical review. *The Journal of International Social Research*. 10 (51), 994-1006, 2017. doi: 10.17719/jisr.2017.1832
- Kennedy, C., Cuddihy, J., Engel-Yan, J. The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*. 11, 43-59, 2007. doi: 10.1162/jie.2007.1107
- Kennedy, C.; Pincetl, S.; Bunje, P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*, 159 (8-9), 1965-1973, 2010. doi: 10.1016/j.envpol.2010.10.022
- Malva, F.L.; Verso, V.R.M.; Astolfi, A. Livingscape: a multi-sensory approach to improve the quality of urban spaces. *Energy Procedia*, 78, 37-42, 2015. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.111
- Marans, R. W. Quality of urban life & environmental sustainability studies: Future linkage opportunities. *Habitat International*. 45, 47-52, 2015. doi: 10.1016/j.habitatint.2014.06.019
- Martins, M. F.; Cândido, G. A. Modelo de avaliação do nível de sustentabilidade urbana: proposta para as cidades brasileiras. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 7(3), 397-410, 2015. doi: 10.1590/2175-3369.007.003.AO09
- Michael, F. L.; Noor, Z. Z.; Figueroa, M. J. Review of urban sustainability indicators assessment – Case study between Asian countries. *Habitat International*, 44, 491-500, 2014. doi: 10.1016/j.habitatint.2014.09.006
- Morais, M. *A análise S.W.O.T aplicada às vendas hoje!* 2008. Disponível em: <http://www.artigonal.com/vendas-artigos/a-analise-swot-aplicada-as-vendas-hoje-352133.html>.
- Nahas, M. I. P. *Bases teóricas, metodologia de elaboração e aplicabilidade de indicadores intra-urbanos na gestão municipal da qualidade de vida urbana em grandes cidades: o caso de Belo Horizonte*. São Carlos, Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – UFSCar, 2002.
- Nunes, M. F. O.; Mayorga, C. T.; Gullo, M. C. R.; Pedone, C. E. M. Indicadores de sustentabilidade urbana: aplicação em bairros de Caxias do Sul. *Revista Arquitetura*, 12 (1), 87-100, 2016. Disponível em: <http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/arq.2016.121.08>
- Oliveira, D. P. R. *Planejamento estratégico: conceitos, metodologias e práticas*. São Paulo: Atlas, 2014.
- Pan, X. et al. Quality of urban life among older adults in the world major metropolises: a cross-cultural comparative study. *Ageing & Society*. 38, 108–128, 2016. doi: 10.1017/S0144686X16000957
- Pierre, D.B.S.; et al. A review of urban metabolism studies to identify key methodological choices for future harmonization and implementation. *Journal of Cleaner Production*, 163(1), 1-18, 2016. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.014
- Pincetl, S. et al. An expanded urban metabolism method: Toward a system approach for assessing urban energy processes and causes. *Landscape and Urban Planning*, 107, 193–202, 2012. doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.06.006
- Qehaja, A. B.; Kutllovci, E.; Pula, J. S. Strategic management tools and techniques usage: a qualitative review. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 65(2), 585-600, 2017. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2982744>

-
- Rezende, D. A. *Planejamento estratégico para organizações*: públicas e privadas. Rio de Janeiro: Brasport, 2008.
- Silva, L. T. Environmental quality health index for cities. *Habitat International*, 45, 29-35, 2015. doi: 10.1016/j.habitatint.2014.06.020
- Shen, L.Y. et al. The application of urban sustainability indicators – A comparison between various practices. *Habitat International*. 35, 17-29, 2010. doi: 10.1016/j.habitatint.2010.03.006
- Turkoglu, H. Sustainable development and quality of urban life. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 202, 10-14, 2015. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.08.203
- Von Wirth, T.; Regamey, A. G.; Stauffacher, M. Meding effects between objective and subjective indicators of urban quality of life: testing specific models for safety and access. *Social Indicators Research*, 122, 189-210, 2015. doi: 10.1007/s11205-014-0682-y
- Wendel, H. E. W.; Zarger, R. K.; Mihelcic, J. R.; Accessibility and usability: Greenspace preferences, perceptions, and barriers in a rapidly urbanizing city in Latin America. *Landscape and Urban Planning*, 107, 272-282, 2012. doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.06.003
- Wolman, A. The metabolism of the city. *Scientific American*. 213, 179-190, 1965.