



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS (PPGCIAMB)

LAYARA DE PAULA SOUSA SANTOS

**INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS PARA AVALIAÇÃO  
DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA**

GOIÂNIA

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação       Tese

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

**Exemplos:** Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

#### 2. Nome completo do autor

Layara de Paula Sousa Santos

#### 3. Título do trabalho

INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM       NÃO<sup>1</sup>

**[1]** Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

**a)** consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

**b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;

- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **LAYARA DE PAULA SOUSA SANTOS, Usuário Externo**, em 02/12/2022, às 12:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Klebber Teodomiro Martins Formiga, Professor do Magistério Superior**, em 05/12/2022, às 08:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3379182** e o código CRC **AC7F26C7**.

LAYARA DE PAULA SOUSA SANTOS

**INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS PARA AVALIAÇÃO  
DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade Federal de Goiás (UFG) como requisito para obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Estrutura e Dinâmica Ambiental

Linha de pesquisa: Monitoramento e Análise de Recursos Naturais

Orientador: Professor Doutor Klebber Teodomiro Martins Formiga

GOIÂNIA

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Santos, Layara de Paula Sousa  
Indicadores socioambientais para avaliação de sistemas de drenagem urbana [manuscrito] / Layara de Paula Sousa Santos. - 2022.  
113 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Pró-reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2022.

Bibliografia. Apêndice.  
Inclui siglas, mapas, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Infiltração. 2. Políticas Públicas. 3. Vulnerabilidade. 4. Setores Censitários. I. Formiga, Klebber Teodomiro Martins, orient. II. Título.

CDU 502/504



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

## GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

## ATA DE DEFESA DE TESE

Ata Nº **004/2022** da sessão de Defesa de Tese de **Layara de Paula Sousa Santos** que confere o título de Doutora em **Ciências Ambientais**, na área de concentração em **Estrutura e Dinâmica Ambiental**.

Aos **vinte e seis dias do mês de outubro de 2022**, a partir das **14 horas**, na **sala virtual**: <<https://meet.google.com/urh-vuuu-vcs>>, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada "**INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA**". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Klebber Teodomiro Martins Formiga (EECA/UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora **Karla Maria Silva de Faria (IESA/UFG)**, membro titular interno; Professor Doutor **Nilson Clementino Ferreira (EECA/UFG)**, membro titular interno, Professor Doutor **Saulo Bruno Silveira e Souza (EECA/UFG)**, membro titular externo; Professor Doutor **Alexandre Kepler Soares (UnB)**, membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **não** sugeriram alteração do título do **trabalho**. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Klebber Formiga**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos **vinte e seis dias do mês de outubro de 2022**.

## TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Klebber Teodomiro Martins Formiga, Professor do Magistério Superior**, em 26/10/2022, às 17:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Karla Maria Silva De Faria, Professor do Magistério Superior**, em 26/10/2022, às 17:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Saulo Bruno Silveira E Souza, Professor do Magistério Superior**, em 26/10/2022, às 17:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Kepler Soares, Usuário Externo**, em 26/10/2022, às 17:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**

**BANCA EXAMINADORA DO EXAME DE DEFESA DE DOUTORADO**

Discente: **Layara de Paula Sousa Santos**

Orientador: **Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga**

Membros (Titulares):

- 1. Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga - UFG**
- 2. Prof. Dr. Alexandre Kepler Soares – UNB**
- 3. Prof. Dra. Karla Maria Silva de Faria – UFG**
- 4. Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira – UFG**
- 5. Prof. Dr. Saulo Bruno Silveira e Souza – UFG**

Membros (Suplentes):

- 1. Prof. Dra. Jussanã Milograna – IFG**
- 2. Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize – UFG**

Data: 26/10/2022

## AGRADECIMENTOS

Ao concluir a tese de doutorado me dei conta que essa vitória só foi possível por contar com pessoas especiais as quais agradeço:

- Ao Ser Extremo, que com seu imenso amor, me favoreceu com essa oportunidade. Foi maravilhoso Senhor... Cada dia me iluminou, amparou, favoreceu-me em graça, bênçãos, amor e luz.

- Aos meus pais, irmãos, família... Meu apoio, minha base e confiança. Agradeço especialmente aos meus genitores, sempre tão preocupados e por isso protetores. Me deram atenção, educação, ensinando-me acima de tudo a caminhar em busca de conhecimentos. Por me amarem tanto, muitas vezes renunciaram a muitos sonhos seus para que eu pudesse realizar os meus.

- Ao professor orientador, Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga, meu porto seguro desde o início do processo seletivo. Sempre me orientou com paciência, empenho, prontidão, apoio, educação e bondade. Destaco o apoio incondicional prestado, a forma interessada e precisa em acompanhar a realização da pesquisa. Seus comentários construtivos, discussões e reflexões foram fundamentais ao longo do curso. Admira-me sua imensa sabedoria, enchendo-me de energia para continuar na luta. Professor amigo, sábio, proativo... Muito especial. Serei eternamente agradecida por tudo.

- A todos os professores de cada disciplina do doutorado, todo esclarecimento válido, acrescentou muito em meu aprendizado.

-Agradeço aos membros da banca examinadora, professores Dr. Alexandre Kepler Soares, Dra. Jussanã Milograna, Dra. Karla Maria Silva de Faria, Dr. Nilson Clementino Ferreira, Dr. Paulo Sérgio Scalize e Dr. Saulo Bruno Silveira e Souza. Devo muito as reflexões destes notáveis pesquisadores envolvidos na mudança científica. É uma honra poder aprender com suas ideias e pensamentos.

-Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela concessão da bolsa de doutorado. Este apoio financeiro permitiu desenvolver de forma mais dedicada minha pesquisa ao longo do curso.

- Aos colegas da turma do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UFG, pela paciência, boas energias, companheirismo e consideração, demonstraram confiança necessária para a elevação do meu potencial.

- Enfim, agradeço a todos funcionários do PPGCIAMB e a todas as pessoas, que de uma forma ou de outra, contribuíram e hoje compartilham comigo essa etapa tão ímpar e especial da minha vida.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e da persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

## RESUMO

A falta de planejamento urbano na maioria das cidades causa impactos negativos relacionados ao meio ambiente. Nesse sentido, a intensificação da urbanização e as consequentes mudanças no ciclo hidrológico comprometem os sistemas tradicionais de drenagem, uma vez que são implantados com o objetivo de proporcionar uma drenagem rápida. Os efeitos hidrológicos, relacionados à aceleração do escoamento superficial, provocam um aumento na frequência das inundações urbanas, impactos sociais, econômicos e ambientais. A escolha do sistema de drenagem mais adequado pode ser feita comparando alternativas de projeto. A utilização de indicadores é um instrumento relevante para gerir adequadamente as questões públicas, principalmente para obter diagnósticos e realizar monitoramentos ambientais. Nesse contexto, um dos objetivos da pesquisa foi demonstrar um arcabouço teórico composto de indicadores socioambientais dos sistemas de drenagem que possam ser aplicados em uma escala de bacia ou sub-bacia urbana, permitindo avaliações no processo de tomada de decisão. O método aplicado foi a revisão sistemática de literatura em conjunto com análise bibliométrica. Com base na análise, foi possível encontrar 107 indicadores socioambientais que podem ser utilizados como instrumento de planejamento. Os resultados demonstraram que as características ambientais locais como tipo de solo, perfil do solo, topografia, declividade da bacia hidrográfica, distância de corpos d'água, condições climáticas, vegetação ciliar e gestão de resíduos estão relacionados à susceptibilidade de inundações. A pesquisa permitiu a consolidação de um conjunto de indicadores que podem ser aplicados para análise de risco e vulnerabilidade à inundações, visto que engloba questões sociais, saúde e meio ambiente, visando o bem estar da cidade. Posteriormente, foi realizada a operacionalização do conceito de vulnerabilidade por meio de indicadores socioambientais, a fim de correlacioná-lo com o sistema de drenagem urbana do estado de Goiás. Os conjuntos de dados disponibilizados para as análises desenvolvidas referem-se aos resultados do Censo Demográfico 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Para o desenvolvimento das métricas foi utilizada a técnica de Análise Fatorial Exploratória. A partir dos 3 índices desenvolvidos: fragilidade ambiental, qualidade infraestrutural e qualidade social, foi desenvolvido um final que engloba todas as variáveis. Os resultados mostraram que setores com melhores sistemas de drenagem (maiores proporções de domicílios com bueiro/boca de lobo e meio fio/guia) tendem a apresentar maiores indicadores de qualidade social e infraestrutural e menores valores de fragilidade ambiental. O método de construção de indicadores proposto pode ser aplicado por meio de censos atuais e antigos, além de fazer usos de diferentes escalas de análises. Por fim, foram criados e validados

indicadores de vulnerabilidade socioambiental para o estado de Goiás, por meio do método de Análise de Componentes Principais (ACP) e técnicas de geoprocessamento, utilizando dados de setores censitários. Assim, propôs-se gerar essas informações e correlacioná-las com o sistema de drenagem urbana. Quanto maior o valor do indicador de fragilidade infraestrutural menor tende a ser o valor do indicador final, visto que, fragilidade infraestrutural apresenta peso negativo. Dos 3 indicadores, qualidade ambiental é o que mais impactou no indicador final, apresentando importância relativa de 41,184%. A criação dos indicadores utilizando-se do método ACP permitiu que uma grande quantidade de informações sobre o estado de Goiás fosse analisada de forma eficiente e sintética por meio do indicador geral.

**Palavras-chave:** Infiltração, Políticas Públicas, Vulnerabilidade, Setores Censitários.

## ABSTRACT

The lack of urban planning in most cities causes negative impacts related to the environment. In this sense, the intensification of urbanization and the consequent changes in the hydrological cycle compromise traditional drainage systems, since they are implemented with the objective of providing rapid drainage. The hydrological effects, related to the acceleration of surface runoff, cause an increase in the frequency of urban floods, social, economic and environmental impacts. Choosing the most suitable drainage system can be made by comparing design alternatives. The use of indicators is a relevant instrument to properly manage public issues, mainly to obtain diagnoses and carry out environmental monitoring. In this context, one of the research objectives was to demonstrate a theoretical framework composed of socio-environmental indicators of drainage systems that can be applied at a basin or urban sub-basin scale, allowing evaluations in the decision-making process. The method applied was the systematic review of literature together with bibliometric analysis. Based on the analysis, it was possible to find 107 socio-environmental indicators that can be used as a planning instrument. The results showed that local environmental characteristics such as soil type, soil profile, topography, watershed slope, distance from water bodies, climatic conditions, riparian vegetation and waste management are related to flood susceptibility. The research allowed the consolidation of a set of indicators that can be applied to the analysis of risk and vulnerability to floods, since it encompasses social, health and environmental issues, aiming at the well-being of the city. Subsequently, the operationalization of the concept of vulnerability was carried out through socio-environmental indicators, in order to correlate it with the urban drainage system of the state of Goiás. The data sets made available for the analyzes carried out refer to the results of the 2010 Demographic Census of the Brazilian Institute of Geography and Statistics. For the development of metrics, the Exploratory Factor Analysis technique was used. From the 3 developed indices: environmental fragility, infrastructural quality and social quality, an end was developed that encompasses all variables. The results showed that sectors with better drainage systems (higher proportions of households with culverts/railways and curbs/leaves) tend to have higher indicators of social and infrastructural quality and lower values of environmental fragility. The proposed indicator construction method can be applied through current and past censuses, in addition to making use of different scales of analysis. Finally, socio-environmental vulnerability indicators were created and validated for the state of Goiás, using the Principal Component Analysis (PCA) method and geoprocessing techniques, using data from census sectors. Thus, it was proposed to generate this information and correlate it with the urban

drainage system. The higher the value of the infrastructural fragility indicator, the lower the value of the final indicator tends to be, since infrastructural fragility has a negative weight. Of the 3 indicators, environmental quality is the one that most impacted the final indicator, with a relative importance of 41.184%. The creation of indicators using the ACP method allowed a large amount of information about the state of Goiás to be analyzed efficiently and synthetically through the general indicator.

**Keywords:** Infiltration, Public Policies, Vulnerability, Census Sectors.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I - INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Figura 1- Etapas da Pesquisa .....	38
Figura 2 - Gráfico de evolução das publicações analisadas. ....	43
Figura 3 - Gráfico da relação de revistas. ....	44

### CAPÍTULO III - INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS APLICADOS AOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA NO ESTADO DE GOIÁS

Figura 1 - Mapa do indicador de qualidade ambiental obtido via ACP por município.....	96
Figura 2 - Mapa do indicador de fragilidade infraestrutural obtido via ACP por município.....	97
Figura 3 - Mapa do indicador de qualidade social obtido via ACP por município.....	98
Figura 4 - Mapa do indicador de qualidade geral obtido via ACP por município.....	99

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO I - INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA**

Tabela 1- Frequência dos indicadores de acordo com as dimensões analisadas.....	40
Tabela 2 - Indicadores socioambientais de drenagem urbana levantados nas bases Web of Science e Scopus .....	40

### **CAPÍTULO II - CONSTRUÇÃO DE UM INDICADOR SOCIOAMBIENTAL E A RELAÇÃO COM O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA**

Tabela 1 - Análise fatorial - indicador ambiental .....	67
Tabela 2 - Análise fatorial - fatores formadores do indicador ambiental .....	67
Tabela 3 - Importância relativa - fragilidade ambiental .....	68
Tabela 4 - Validação dos construtos – ambiental .....	68
Tabela 5 - Análise fatorial – indicador de infraestrutura.....	69
Tabela 6 -Análise fatorial – fatores formadores do indicador de infraestrutura.....	69
Tabela 7 - Importância relativa – qualidade infraestrutural .....	70
Tabela 8 - Validação dos construtos – infraestrutura .....	71
Tabela 9 - Análise fatorial – indicador social.....	71
Tabela 10 - Análise fatorial – fatores formadores do indicador social.....	71
Tabela 11 - Importância relativa – qualidade social.....	72
Tabela 12 - Validação dos construtos – social .....	73
Tabela 13 - Análise fatorial – indicador final.....	73
Tabela 14 - Validação do indicador de qualidade geral .....	74
Tabela 15 - Análise descritiva do sistema de drenagem.....	75
Tabela 16 - Correlações entre os indicadores AF e a presença de bueiro/boca de lobo e meio fio/guia.....	75

### **CAPÍTULO III - INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS APLICADOS AOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA NO ESTADO DE GOIÁS**

Tabela 1 - Análise de componentes principais – qualidade ambiental.....	91
Tabela 2 - Análise de componentes principais - fragilidade infraestrutural.....	93
Tabela 3 - Análise de componentes principais – qualidade social .....	94
Tabela 4 - Correlações entre os indicadores ACP e a presença de bueiro/boca de lobo e meio fio/guia.....	101

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	15
2. PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
3. OBJETIVOS.....	18
a. Objetivo geral .....	18
b. Objetivos específicos .....	18
4. ESTRUTURA DA PESQUISA .....	18
4.1 Descrição dos estudos .....	19
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	22
5.1 Drenagem Urbana .....	22
5.2 Sistemas de drenagem em outros países .....	23
6. REFERÊNCIAS .....	28
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>32</b>
<b>INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO     DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE     LITERATURA .....</b>	<b>32</b>
1. Introdução.....	35
2. Materiais e Métodos .....	37
3. Resultados e Discussões.....	38
4. Considerações Finais.....	46
Referências .....	48
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>56</b>
<b>CONSTRUÇÃO DE UM INDICADOR SOCIOAMBIENTAL E A RELAÇÃO COM     O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA .....</b>	<b>56</b>
INTRODUÇÃO.....	59
METODOLOGIA.....	63
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
Criação de indicadores via Análise Fatorial .....	66
Indicador ambiental.....	66
Indicador de infraestrutura .....	69
Indicador social .....	71
Indicador final .....	73
Relacionamento do sistema de drenagem e dos indicadores.....	74
CONCLUSÃO.....	75

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
APÊNDICE A – Apresentação das variáveis ambientais, variáveis de infraestrutura e variáveis sociais .....	80
Apresentação das variáveis ambientais .....	80
Apresentação das variáveis de infraestrutura .....	81
Apresentação das variáveis sociais .....	82
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>84</b>
<b>INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS APLICADOS AOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA NO ESTADO DE GOIÁS .....</b>	<b>84</b>
INTRODUÇÃO.....	86
MATERIAIS E MÉTODOS.....	89
Área de estudo .....	89
Procedimentos metodológicos .....	89
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	91
Criação de indicadores via Análise de Componentes Principais.....	91
Indicador Ambiental.....	91
Indicador de Infraestrutura .....	92
Indicador Social.....	93
Indicador Final .....	95
Análise espacial dos indicadores por setor censitário .....	95
Relacionamento do sistema de drenagem e dos indicadores.....	100
CONCLUSÃO.....	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	103
APÊNDICE A – Apresentação das variáveis ambientais, variáveis de infraestrutura e variáveis sociais .....	106
Apresentação das variáveis ambientais .....	106
Apresentação das variáveis de infraestrutura .....	108
Apresentação das variáveis sociais .....	108
CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....	110

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A falta de execução do planejamento urbano em grande parte das cidades ocasiona impactos negativos relacionados ao meio ambiente, nesse aspecto, a intensificação da urbanização e as conseqüentes alterações do ciclo hidrológico comprometem os sistemas tradicionais de drenagem. Os efeitos hidrológicos, relacionados à aceleração do escoamento ocasionam aumento da frequência das inundações urbanas, impactos sociais, econômicos e ambientais (CASTRO; BAPTISTA; CORDEIRO NETTO, 2004).

A abordagem tradicional do controle de inundação urbana, principalmente por meio de obras que visam a retificação, canalização e recobrimento, têm a finalidade de criar estruturas para conduzir o excesso de água para pontos mais distantes do local protegido (KIRBY, 2005). Esse tipo de solução mostrou-se adequada por um determinado tempo, porque o crescimento urbano desordenado inviabiliza a solução tradicional, exigindo novas intervenções na rede de drenagem para readequação da capacidade hidráulica (GOMÉZ et al., 2011; MIGUEZ; VÉROL; REZENDE, 2015).

Tradicionalmente, projetar medidas de controle de inundação inclui uma sequência lógica que abarca estudos hidrológicos, com a definição de chuva de projeto relacionada a um período de retorno, avaliação das variações de vazão do rio e o projeto da implementação de medidas estruturais capazes de resistir à variação de vazão, ocasionando a implementação da solução definida (PLATE, 2002). De acordo com Liao (2012), é preciso considerar o risco residual de uma falha estrutural ou mesmo a ocorrência de um evento hidrológico inesperado. Desconsiderar esse risco leva a uma falsa sensação de segurança, causando aumento da exposição ao perigo no desenvolvimento urbano.

Apesar das preocupações sobre o problema, os eventos de inundações causam danos até mesmo em países desenvolvidos, esta situação indica a necessidade de mudar a estratégia de gestão de inundações urbanas. Apesar dos anos de sucesso, a abordagem tradicional não considerou as questões de sustentabilidade a longo prazo como critérios de projeto. É importante destacar vantagens da abordagem sustentável, tais como: melhoria ambiental, recarga natural das águas subterrâneas e redução do escoamento superficial (CHOW et al., 2014).

Nesse contexto, Pender e Néelz (2007), observaram que para reduzir os danos causados pelas inundações, a gestão de riscos, combinando medidas não estruturais para prevenir,

mitigar, preparar e recuperar é um fator chave a ser considerado. A gestão do risco de inundações introduz preocupações sobre as variáveis socioeconômicas afetadas pela inundação. Uma abordagem adequada de planejamento pode reduzir o impacto de cheias, criando um relacionamento mais harmonioso entre ambiente natural e construído, com aspectos favoráveis para qualidade de vida da população.

Roy et al. (2008), analisaram experiências australianas e americanas e constataram três premissas: que a gestão sustentável de águas pluviais deve manter a estrutura ecológica natural da água receptora dos corpos, as tecnologias existentes são capazes de recuperar as funções do ciclo natural da água e a bacia hidrográfica é a unidade de gerenciamento e planejamento.

Nesse aspecto, a avaliação ambiental da qualidade do sistema de drenagem urbana consolidou-se como uma etapa importante no processo de planejamento, pela possibilidade de favorecer a formulação e seleção de alternativas. Essa situação possibilitou o desenvolvimento de uma nova abordagem, mais abrangente e sistêmica visando proporcionar resultados mais sustentáveis para o processo de controle de inundações (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2014).

No Brasil, é comum que os indicadores sejam utilizados para avaliação e diagnósticos dos serviços de saneamento. Dessa forma, o conjunto de indicadores pode ser utilizado para avaliação de problemas, apoiando as entidades na gestão dos serviços e estabelecimento de prioridades de investimentos (LOUREIRO et al., 2020).

Na maioria das cidades brasileiras percebe-se a segmentação socioespacial, onde a porção mais periférica, encontra-se desprovida de serviços e infraestrutura, em decorrência disso, determinadas regiões são mais suscetíveis à processos de vulnerabilidade. Assim, a análise da vulnerabilidade socioambiental deve envolver um entendimento integrado com as condições de vida da população, sendo que os impactos dos desastres naturais alteram os cenários urbanos e impactam negativamente a vida das pessoas (VASCONCELOS et al., 2019).

Desta forma, torna-se necessário definir os indicadores que serão utilizados para a avaliação do sistema de drenagem, de acordo com os critérios estabelecidos previamente, a fim de permitir a comparação entre diversas técnicas. Devem ser simples para que os gestores possam compreender o significado e ao mesmo tempo sejam coerentes e consistentes, para que todos os aspectos relevantes sejam avaliados (CASTRO et al., 2004).

## 2. PROBLEMA DE PESQUISA

Esta pesquisa considera a hipótese de que os indicadores socioambientais podem ser utilizados para avaliação da cobertura dos sistemas de drenagem, sendo que provavelmente as regiões periféricas apresentam déficit. A expansão dos centros urbanos, tem como característica a impermeabilização e aceleração do escoamento, fato que altera as respostas naturais da bacia hidrográfica, dessa forma o sistema pode falhar em um determinado momento. De acordo com Kemerich et al. (2013), o uso de indicadores constitui-se como instrumento relevante para gerenciar adequadamente as questões públicas, principalmente para obter diagnósticos e realizar monitoramentos ambientais.

O desenvolvimento desta pesquisa de doutorado está situado em torno de algumas questões que podem ser respondidas no decorrer dos capítulos. a) Qual é o arcabouço teórico composto de indicadores socioambientais dos sistemas de drenagem? b) É possível operacionalizar o conceito de vulnerabilidade socioambiental, por meio da construção e validação de um indicador?

Para responder essas questões, foram realizadas as seguintes abordagens:

1- Para o levantamento de indicadores socioambientais foi realizada uma revisão sistemática que possibilita a integração de informações de um conjunto de estudos realizados separadamente, que podem apresentar resultados conflitantes ou coincidentes, que podem ajudar a identificar temas que necessitam de investigação, possibilitando a constatação de lacunas na literatura.

2- Para obtenção dos indicadores, foram utilizados os conjuntos de dados disponibilizados pelo Censo Demográfico 2010. Tendo em vista a grande quantidade de informações e bases apresentadas, de forma a facilitar o desenvolvimento dos indicadores, as informações foram filtradas e sumarizadas em um menor número de variáveis mais relevantes para a criação dos indicadores. Além disso, foram subdivididas nas categorias sociais, ambientais e de infraestrutura. Para o desenvolvimento dos indicadores optou-se por utilizar a técnica de Análise Fatorial Exploratória. Em seguida, a técnica foi planejada com base em três etapas: a) verificação da adequabilidade da base de dados; b) determinação da técnica de extração (componentes principais); c) tipo de rotação dos fatores (Varimax).

3- Para criar os indicadores de vulnerabilidade socioambiental de drenagem urbana, utilizou-se o método Análise de Componentes Principais - ACP e técnicas de

geoprocessamento, utilizando dados de setores censitários. Assim, propôs-se gerar essas informações e correlacioná-las com o sistema de drenagem urbana, a fim de contribuir para o processo de tomada de decisão.

### **3. OBJETIVOS**

#### **a. Objetivo geral**

Construir e validar indicadores socioambientais, empregando o método de Análise Fatorial, método ACP e técnicas de geoprocessamento.

#### **b. Objetivos específicos**

- Revisar o histórico da utilização de indicadores socioambientais de drenagem urbana e resumir os dados disponíveis na literatura.
- Compreender quais indicadores socioambientais podem estar relacionados à drenagem urbana de modo a agregar informações, a fim de representar a realidade e realizar medidas de adaptação.
- Analisar os problemas socioambientais relacionados à drenagem urbana, considerando-se os indicadores que podem ser utilizados.
- Definir um único indicador, a partir dos indicadores criados.

### **4. ESTRUTURA DA PESQUISA**

O corpo principal desta pesquisa é composto por três artigos inseridos como apêndices. Para o levantamento de indicadores foram consultados artigos publicados entre os anos de 2000 a 2020, indexados nas bases *Web of Science* e *Scopus*. Os termos utilizados foram procurados no título, na lista de palavras-chave e nos resumos. Os seguintes filtros foram utilizados: “(indicators) and (urban drainage)”, obtendo-se 631 artigos, considerando-se os idiomas português e inglês. Ao final do levantamento, obteve-se 45 publicações, com isso buscou-se identificar os indicadores de drenagem e suas possíveis aplicações, conforme Capítulo I.

De acordo com o levantamento bibliográfico foi possível observar o aumento das áreas impermeabilizadas na capital do estado de Goiás, dos processos erosivos lineares e o

consequente aumento das áreas de inundações e alagamentos. Nesse contexto, observou-se a necessidade de operacionalizar o conceito de vulnerabilidade socioambiental, por meio da construção e validação de um indicador, a fim de correlacioná-lo com o sistema de drenagem urbana. Para verificar se o sistema de drenagem se relaciona com as características ambientais, sociais e de infraestrutura dos setores censitários, apresentou-se as correlações entre os indicadores desenvolvidos e a proporção de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca de lobo e a proporção de domicílios particulares permanentes com meio fio/guia, conforme Capítulo II.

Por fim, no Capítulo III, foi possível verificar indicadores socioambientais obtidos pelo método ACP. Ainda pode-se analisar como o sistema de drenagem se relaciona com as características ambientais, sociais e de infraestrutura dos setores censitários, sendo que os resultados foram apresentados por meio de mapas.

#### 4.1 Descrição dos estudos

As revisões de literatura, abordagens metodológicas e conclusões estão apresentados nos artigos científicos que integram esta pesquisa. A seguir estão resumidos os pontos mais importantes.

##### **Capítulo I:** Artigo submetido à Revista Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Esta pesquisa caracteriza-se como exploratória, com o objetivo de realizar uma revisão sistemática de literatura por meio de artigos consultados na base de dados Web of Science e Scopus publicados entre os anos de 2000 e 2020. O método aplicado foi a revisão sistemática de literatura em conjunto com análise bibliométrica. Após a aplicação da filtragem por tema, foram analisados 45 artigos finais. Com base na análise, foi possível encontrar 107 indicadores socioambientais que podem ser utilizados como instrumento de planejamento.

Na última etapa, após a revisão dos textos foi elaborado um quadro com o levantamento dos indicadores, bem como os respectivos autores da pesquisa. Dessa forma, foi realizada uma discussão sobre os resultados apresentados e as possibilidades de utilização dos indicadores no cenário brasileiro, de forma a contribuir com o planejamento urbano.

Considerando a abordagem dada à expressão indicadores socioambientais de drenagem urbana, notou-se grande ênfase aos estudos relacionados à técnicas compensatórias de

drenagem, saneamento ambiental, sustentabilidade, além do caráter interdisciplinar de algumas pesquisas. Os resultados demonstraram que as características ambientais locais como tipo de solo, perfil do solo, topografia, declividade da bacia hidrográfica, distância de corpos d'água, condições climáticas, vegetação ciliar e gestão de resíduos estão relacionados à susceptibilidade de inundações.

Analisando-se os respectivos artigos, pode-se inferir que os estudos sobre indicadores socioambientais focam em aspectos relacionados à performance, indicadores de perigo, vulnerabilidade e risco na drenagem urbana. Esses sistemas tem a finalidade de prover informações visando a melhoria da qualidade social e ambiental. O estudo permitiu a consolidação de um conjunto de indicadores que podem ser aplicados para análise de risco e vulnerabilidade à inundações, visto que engloba questões sociais, saúde e meio ambiente, visando o bem estar da cidade. Também podem contribuir para o diagnóstico e até mesmo soluções de problemas que comprometam o meio ambiente, auxiliando no desenvolvimento de técnicas que favoreçam a infiltração e contribuam para o aumento dos sistemas de drenagem sustentáveis.

## **Capítulo II:** Artigo publicado na Revista Brasileira de Ciências Ambientais.

O objeto de estudo foi o estado de Goiás, caracterizado pela ocorrência de alagamentos em diversas regiões da capital, tornando-se um problema eminente para a população. Os conjuntos de dados disponibilizados para as análises desenvolvidas nesta pesquisa referem-se aos resultados do Censo Demográfico 2010. Tendo em vista a grande quantidade de informações e bases apresentadas, de forma a facilitar o desenvolvimento dos indicadores, as informações foram filtradas e sumarizadas em um menor número de variáveis mais relevantes para a criação dos indicadores. Além disso, estas foram subdivididas nas categorias sociais, ambientais e de infraestrutura.

O software utilizado nas análises foi o R (versão 3.6.0), este pacote de análise estatística incorpora testes, modelos e análises estatísticas padrões, além de fornecer uma linguagem abrangente para gerenciar e manipular dados. Inicialmente, os pacotes utilizados para preparação dos dados no software R, foram: *library(tidyverse)*, *library(data.table)* e *library(readxl)*.

Dados os 3 indicadores desenvolvidos via análise fatorial, fragilidade ambiental, qualidade infraestrutural e qualidade social, foi realizado o desenvolvimento de um indicador único que agrega estes três.

Os resultados apresentados nesta pesquisa mostraram que o método de análise fatorial exploratória foi adequado para a criação de um indicador socioambiental. Possibilitou a compreensão de que as condições ambientais podem ser analisadas como fragilidades, já que apresentaram peso negativo.

De modo geral, a construção e validação do indicador contribuiu para a compreensão da relação existente entre os aspectos socioambientais e o sistema de drenagem urbana. Demonstrou que aspectos básicos relacionados ao manejo de águas pluviais precisam ser melhorados, já que em média, apenas 23% dos domicílios particulares permanentes possuem boca de lobo.

### **Capítulo III:** Artigo submetido à Revista Meio Ambiente e Desenvolvimento.

As informações geradas pelos indicadores podem ser adicionadas e trabalhadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas - SIG, com a finalidade de disponibilizar informação com referência espacial. Com o uso de tecnologias inerentes ao SIG, é possível realizar a análise espacial das informações apresentadas pelos indicadores.

Dentre as diversas aplicações do SIG, destaca-se as aplicações socioambientais. Diante disso, esse artigo teve como objetivo criar e validar indicadores de vulnerabilidade socioambiental para o estado de Goiás, por meio do método ACP e técnicas de geoprocessamento, utilizando dados de setores censitários. Assim, propôs-se gerar essas informações e correlacioná-las com o sistema de drenagem urbana, a fim de contribuir para o processo de tomada de decisão.

A seleção dos indicadores tomou como referência a metodologia utilizada por Santos; Formiga e Clementino (2020), que subdividiram manualmente as variáveis nas categorias sociais, ambientais e de infraestrutura. Para subdivisão dos indicadores considerou-se que as classes sociais mais empobrecidas não têm condições de adquirir um terreno formal, normalmente constroem moradias em áreas de risco e forte vulnerabilidade ambiental. Estas áreas são mais suscetíveis à perigos ambientais, como enchentes, poluição e desabamentos.

Os resultados foram apresentados por meio de mapas. Por fim, apresentou-se as correlações entre os indicadores desenvolvidos e a proporção de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca de lobo e a proporção de domicílios particulares permanentes com meio fio/guia.

A criação dos indicadores utilizando-se do método ACP permitiu que uma grande quantidade de informações sobre o estado de Goiás fosse analisada de forma eficiente e sintética por meio do indicador geral, mas sem perder parte das informações contidas no conjunto maior de variáveis. A metodologia desenvolvida pode ser utilizada para caracterizar o desenvolvimento dos municípios da região, para isso foi realizada uma análise espacial, a fim de facilitar a visualização dos resultados alcançados.

## **5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **5.1 Drenagem Urbana**

De acordo com Baptista et al. (2005), com o processo de desenvolvimento das cidades observou-se o aparecimento de zonas alagadiças, provavelmente ocasionadas pela falta de manutenção dos sistemas de evacuação das águas, visto que os dejetos eram lançados em corpos hídricos. Diante desses problemas, tornou-se necessário realizar o tratamento diferenciado das águas que se acumulavam nos centros urbanos, dessa forma surgiram os primeiros sistemas de drenagem urbana. Essa fase é denominada de pré-higienista, visto que ainda não havia conhecimento sobre o impacto que estas águas poderiam causar à saúde.

A intensificação da urbanização ocorreu após a segunda metade do século XX, com isso observou-se insuficiências no sistema por meio de inundações nas áreas ocupadas pelas cidades. O crescimento urbano acelerado agravou os problemas de enchentes urbanas devido a remoção da cobertura vegetal original, aumento da impermeabilização, introdução de obras de canalização e ocupação de planícies ribeirinhas (MIGUEZ, VERÓL; REZENDE, 2016). Os impactos hidrológicos foram ampliados pelas concepções higienistas em decorrência da aceleração do escoamento e das consequências ocasionadas pelas mudanças das características originais de uso do solo. Isso acarretou na sobrecarga das canalizações e caixas coletoras que causavam inundações e alagamentos em áreas residenciais.

Em decorrência da obsolescência gradual das redes de drenagem, com implicações econômicas e sociais diversas, iniciou-se uma nova fase, composta pela revisão dos procedimentos utilizados e novos métodos de amortecimento de cheias, caracterizando a passagem da fase higienista e sanitaria para fase corretiva das águas urbanas (TUCCI, 2008).

Ainda segundo Tucci (2008), os problemas decorrentes da obsolescência dos sistemas de drenagem urbana aumentam significativamente as preocupações relacionadas com a

crescente valorização da paisagem urbana, melhoria da qualidade da água e preservação dos cursos d'água. Mesmo com o avanço das técnicas implementadas, verificou-se que ao longo dos anos em razão das inundações, parte da poluição ainda existia. Neste aspecto, a década de 90 é marcada pela implantação de políticas de desenvolvimento sustentável, com enfoque no tratamento de águas urbanas, conservação do escoamento pluvial natural e aumento de áreas permeáveis.

Burian et al. (1999) destacam a mudança na perspectiva pública sobre a drenagem urbana, que passou de uma reflexão negligenciada para um sistema de obras públicas vital. Canholi (2005) considera a drenagem como um problema regional, de acordo com o autor, as inundações são decorrentes da rápida expansão da população urbana, do baixo nível de conscientização do problema, da inexistência de planos de longo prazo, da utilização precária de medidas não estruturais e manutenção inadequada dos sistemas de controle das inundações.

Cruz e Tucci (2008) afirmam que o aumento na frequência e magnitude de inundações, alagamentos, erosão do solo e contaminação das águas pluviais decorrem da falta de instrumentos reguladores do uso e ocupação do solo. A bacia hidrográfica começou a ser considerada como unidade de planejamento ambiental, a partir da Constituição Federal de 1988, onde as especificidades de cada bacia passaram a ser utilizadas para manutenção dos processos hidrológicos e para definição de zoneamento urbano.

## 5.2 Sistemas de drenagem em outros países

Na América do Norte e Nova Zelândia, o desenvolvimento de baixo impacto tem sido comumente utilizado, com proteção das áreas de recarga de aquíferos e cabeceiras. O objetivo desse projeto foi de alcançar uma hidrologia natural, com a utilização de medidas de controle integradas. O sistema de drenagem nesses países é caracterizado por dispositivos de tratamento de águas pluviais de menor escala, como sistemas de biorretenção, telhados verdes e valas, localizados nas proximidades ou fonte de escoamento (SHAVER, 2004). Também utilizam projetos urbanos para cidades sensíveis à água, com a finalidade de fornecer o controle contra inundações; gerenciamento de vazões, melhorias da qualidade da água e aproveitamento de águas pluviais (ASHLEY et al., 2013).

O desenvolvimento ecologicamente sustentável na Austrália pode ser descrito como um processo além da proteção do meio ambiente dos impactos da poluição, para a proteção e

conservação dos recursos naturais. O Projeto Urbano Sensível à Água na Austrália evoluiu de sua associação inicial com o gerenciamento de águas pluviais para fornecer uma estrutura mais ampla para o gerenciamento sustentável de águas urbanas. Ele fornece um método comum e unificado para integrar as interações entre a forma urbana construída e o ciclo da água urbana (WONG, 2006). Atualmente, estão em vigor na Austrália estratégias de Projeto Urbano Hidricamente Sensível, com incentivo de técnicas que imitem o ciclo natural.

Como aspecto negativo do sistema de drenagem na Nova Zelândia, análises demonstraram entupimento de drenos e reduções de capacidade hidráulica, decorrentes das condições aquáticas, crescimento de plantas ripárias e acúmulo de sedimentos. A manutenção do dreno deve ser preventiva ou corretiva. Dessa forma, um conjunto de melhores práticas de gerenciamento deve ser desenvolvido para abordar condições específicas do local, aspectos econômicos, ambientais e prioridades de gerenciamento em cada dreno (HUDSON; HARDING, 2004).

No contexto norte-americano, principalmente Estados Unidos e Canadá, as melhores práticas de gerenciamento, são utilizadas para descrever um tipo de prática ou abordagem estruturada para evitar poluição. Mais especificamente para drenagem urbana, este termo tem um histórico no gerenciamento de processos de tratamento de águas residuárias, com enfoque principalmente em medidas não estruturais, como treinamento do operador, manutenção e procedimentos operacionais. Podem incluir cronogramas de atividades, proibições de determinadas práticas, procedimentos de manutenção, incluindo requisitos de tratamento, práticas para controlar o escoamento, vazamentos e descarte de resíduos (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2011).

Muitas cidades na China sofrem inundações frequentes durante a estação de chuvas. Isso ocorre porque os sistemas de drenagem urbana são antigos e não podem acomodar suficientemente as grandes quantidades de escoamento, que aumentaram nos últimos anos em decorrência do rápido desenvolvimento (PENG et al, 2015). Com isso, águas pluviais são descarregadas diretamente nos corpos d'água. A primeira descarga de águas pluviais geralmente é contaminada por matéria orgânica, sólidos em suspensão, nitrogênio amoniacal, metais pesados (LI et al., 2012). Dessa forma, a água é transportada por meio de sistemas de drenagem urbana durante eventos de tempestade para corpos d'água receptores, ocasionando deterioração significativa de corpos d'água a jusante.

Como muitas cidades na China dependem de rios como fonte de água, a drenagem durante eventos chuvosos afeta significativamente a segurança da água potável. Quando as águas provenientes do sistema de drenagem urbana adentram a Estação de Tratamento de Água (ETA), a alta concentração de amônia presente nas águas pluviais reagem com o desinfetante cloro para formar as cloraminas, esse processo produz a formação de contaminantes. As estratégias utilizadas para realizar esse controle incluem o uso de carvão ativado granular, oxidação livre e ozonização (KRASNER et al., 2013).

O Japão contatou os holandeses para estudar o problema das enchentes que causavam prejuízos, eles estudaram o problema e propuseram soluções baseadas em suas experiências, mas não obtiveram êxito. Dessa forma, os japoneses observaram a necessidade de realizar o florestamento dos alpes para conter sedimentos e erosões. Investiram em programas de proteção das encostas para reduzir as inundações, criaram cooperativas florestais para administrar as florestas, com enfoque no manejo sustentável. Dessa forma, as medidas de controle e prevenção evoluíram, com a utilização de ações preventivas de organização humana e ocupação do solo. Assim, evita-se asfaltar as vias, evita-se que a água de chuva escoe diretamente para o rio, permitindo a infiltração no solo (RIBEIRO, 2004).

Na Índia, os sistemas mais avançados têm esgotos canalizados. As aldeias periurbanas têm altas proporções de esgotos a céu aberto, constituindo uma combinação de desenvolvimento urbano disciplinado e indisciplinado. As instalações de esgoto mais avançadas lançam águas residuais em sistemas fechados. Essa tecnologia possui um padrão espacial periurbano que segue as principais rodovias e áreas industriais, bem como as principais periferias das cidades. No entanto, nem todas as aldeias possuem sistema de drenagem fechado. De fato, há uma correlação muito fraca entre a drenagem a céu aberto e o tamanho da vila (HUI; WESCOAT, 2019).

Os sistemas de drenagem na China antiga amadureceram gradualmente, a tecnologia e a evolução dos bueiros refletem não apenas a inovação, mas também a evolução dos antigos sistemas urbanos em função da expansão dos assentamentos. Os sistemas de drenagem que já serviram centenas de pessoas, modernizaram à medida que as populações urbanas cresceram e agora são um componente indispensável da construção urbana nas megacidades da China moderna (CUN et al., 2019). Na região sudeste, os poços coletam o escoamento e a água da chuva no local, que é então descarregada em lagoas, pátios ou valas conectadas ao sistema de drenagem comunitário (YU et al., 2007). A arquitetura dos sistemas de drenagem comunitários

caracteriza o modo de sistema de drenagem menor, composto de valas, bueiros e esgotos (WU, 2009).

Na China, o sistema de drenagem é caracterizado como um sistema de transbordo em cascata composto por um sistema de microdrenagem, sistema de drenagem menor e sistema de drenagem principal. No projeto prático, o sistema de microdrenagem pode ser um pavimento permeável, pequenos sistemas de drenagem são caracterizados como condutos, e os principais são apresentados como lagos e lagoas. (GUO, 2017).

Os sistemas de microdrenagem fornecem controle para os antigos sistemas de drenagem urbana da China. Os sistemas menores de drenagem fornecem transporte e os principais sistemas de drenagem fornecem retenção para permitir que os cidadãos explorem plenamente os recursos hídricos naturais. Os métodos de gerenciamento de águas pluviais em cada escala estão alinhados com o conceito de cidades esponjas na China moderna, que prioriza a retenção natural, a infiltração natural e a purificação natural (JIANG et al., 2018; NGUYEN et al., 2019).

Na Indonésia, as ocorrências de inundações urbanas são associadas ao sistema de drenagem urbana, que ainda é convencional. Ainda utiliza o conceito de descarregar água o mais rápido possível de um local protegido. Embora tenham percebido que esse conceito não é o mais apropriado para ser aplicado, deixá-lo e mudar para um sistema de drenagem sustentável exige um sistema separado. As inundações em determinadas regiões da Indonésia, de fato mostraram a tendência de aumentarem de acordo com o tempo. Há muitos aspectos causadores do problema, os principais são as alterações do uso do solo, aumento de áreas impermeáveis e mudanças climáticas (PUJIASTUTI, 2017).

A África do Sul está atrás do resto do mundo, já que vários outros governos estabeleceram legislação, estruturas e capacidade institucional para cobrança de serviços para gestão de águas pluviais. Como resultado, os municípios mal conseguem manter seus sistemas de tubulação, resultando na degradação contínua do ambiente. Nesse caso, modelos de financiamento alternativos precisam ser considerados para a gestão de águas pluviais. Internacionalmente, um número crescente de cidades criou serviços de água pluviais separados e começaram a cobrar o público diretamente pelos serviços de gestão de águas pluviais, a fim de garantir o financiamento necessário para o melhor gerenciamento (CAMPBELL, 2010).

A mitigação de inundações pode ser possível através da análise precisa de dados históricos em regiões propensas a desastres causados por inundações. Determinar métodos de mitigação apropriados para cada acordo é uma necessidade em Istambul. As medidas devem

ser tomadas ininterruptamente até que os tomadores de decisão a transformem em uma política (BODUR, 2018).

A grande irregularidade do fluxo de água em Portugal desafia o planejamento e a gestão de recursos hídricos, principalmente na parte sul do país onde as secas são frequentes, mas temporariamente são interrompidas por fortes inundações. Em bacias grandes como o Tejo, o sistema de barragens reduziu a frequência de cheias, especialmente no outono, quando os reservatórios ainda tem capacidade de absorver altos fluxos após períodos secos do verão. No entanto, juntamente com a redução de frequência de inundações vem a redução na deposição de sedimentos que reabastecem a fertilidade da planície aluvial do rio Tejo. Isso também acentua a erosão das praias localizadas ao sul do estuário do Tejo, alimentadas principalmente por aluviões (RAMOS; REIS, 2002).

As cidades de Yerba Buena e Tucuman, na província de Tucumán, Argentina, foram afetadas por vários eventos de enchentes, fazendo com que centenas de pessoas fossem evacuadas de suas casas. Chuvas intensas, novos empreendimentos habitacionais cobrindo terrenos previamente permeáveis e antigos sistemas de drenagem são as principais causas para essa situação. Estudos realizados por Fernández e Lutz (2009), mostram que a parte sudeste de San Miguel de Tucumán tem o maior risco de inundações em uma área estendida como consequência da conjunção de planícies com declives abaixo de 0,6% e a presença de canais de riachos urbanos com um plano de manutenção ruim.

De acordo com Fernández e Lutz (2009), o mapa de risco de inundações urbana é uma nova ferramenta para as cidades em estudo, que pode ajudar os planejadores e tomadores de decisão a avaliar as áreas que precisam de revisão da infraestrutura de descarga para reduzir a vulnerabilidade da população a eventos de inundações. O mapa mostra claramente que os bairros localizados perto dos principais sistemas de descarga estão em perigo.

Na maioria das cidades latino-americanas, existem concentrações de famílias de baixa renda em locais de risco. Por exemplo, cerca de 1,1 milhão de pessoas vivem nas favelas do Rio de Janeiro que se espalham pelas encostas da Serra da Tijuca. Em alguns lugares, a pavimentação de calçadas aumentou o escoamento nas chuvas (PANDIELLA, 2009).

Quito, no Equador, é outra cidade onde riscos e vulnerabilidades combinam para criar riscos. A cidade fica no sopé do vulcão Pichincha, em uma encosta muito íngreme. Os custos para fornecer serviços e infraestrutura para essas áreas são muito altos, especialmente para assentamentos ilegais. A falta de esgotos e sistemas de drenagem aumentam o risco de

inundações, enquanto a falta de sistemas adequados de coleta de resíduos resulta no acúmulo de resíduos em ravinas e desfiladeiros, que obstruem o fluxo natural de água e gera inundações e deslizamentos de terra (ZEVALLOS, 1996).

Muitos dos bairros urbanos com maior risco de condições climáticas extremas são ainda mais vulneráveis pela falta de infraestrutura e serviços, e frequentemente por alterações físicas nos arredores. A região metropolitana de Buenos Aires possui um grande déficit na infraestrutura necessária para manter os riscos ao mínimo, incluindo provisão de água, saneamento e drenagem - embora com grandes disparidades entre os mais ricos e os municípios de baixa renda. Buenos Aires possui um sistema de drenagem antigo, planejado para metade da população atual e projetado para funcionar no contexto de espaços abertos e terrenos baldios que não existe mais. Em 2001, níveis recordes de precipitação causaram grandes colapsos em partes da infraestrutura urbana, uma situação que agora se tornou recorrente (PANDIELLA, 2009).

Diversos conceitos têm sido desenvolvidos nas últimas décadas para soluções sustentáveis no projeto de drenagem urbana, tentando recuperar características naturais do ciclo hidrológico, acrescentando valor para a cidade. Nesse contexto, alguns desses os indicadores de sustentabilidade constituem uma base útil à tomada de decisões em todos os níveis, buscam mensurar as ações relacionadas ao desenvolvimento sustentável. De acordo com Martins e Candido (2008), podem contribuir para minimizar impasses futuros do desenvolvimento sustentável e para orientar a gestão e o planejamento de políticas e ações que podem ser desenvolvidas.

Os indicadores permitem agregar informações consideradas importantes pelos gestores e pela comunidade, por isso são considerados fundamentais no processo de tomada de decisão. É preciso destacar que o indicador consiste na representação do desempenho, dessa forma estabelece um compromisso entre a validade da representação, facilidade de medição e utilidade na realização de intervenções (CASTRO; BAPTISTA; NETTO, 2004).

## **6. REFERÊNCIAS**

ASHLEY, R., LUNDY, L., WARD, S., SHAFFER, P., WALKER, L., MORGAN, C., SAUL, A., WONG, T., AND MOORE, S. Water-sensitive urban design: opportunities for the UK. *Proceedings of the ICE-Municipal Engineer*, 166 (2), 65–76, 2013.

- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S.; Técnicas compensatórias em drenagem urbana. **ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, 2005. p.266.
- BODUR, A. Sel ve İstanbul: Sel Riskine Karşı Yapılan Dere Islah Çalışmaları ile İlgili Bir Değerlendirme. **Resilience**, v. 2, n. 1, p. 57-68, 2018.
- BURIAN, S.J. NIX, S.R. DURRANS, R.E. PITT, C.Y. FAN, R. FIELD. The historical development of wet-weather flow management. **Journal of Water Resources Planning and Management**, 1999; v. 125, n.1, p. 3-13.
- CAMPBELL, W. The Western Kentucky University Stormwater Utility Survey 2010. Western Kentucky University, Bowling Green, 2010.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos; 2005. 304 p.
- CASTRO, L. M. A.; BAPTISTA, M. B.; NETTO, O. M. C. Análise multicritério para a avaliação de sistemas de drenagem urbana – Proposição de indicadores e de sistemática de estudo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 4, p.05-19, 2004.
- CHOW, J., SAVIC, D., FORTUNE, D., KAPELAN, Z., MEBRATE, N. Using a systematic, multi-criteria decision support framework to evaluate sustainable drainage designs. **Procedia Engineering**, 2014.
- CRUZ, M. S. A.; TUCCI, C. E. M. Avaliação dos cenários e planejamento na drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 13, n.3, p. 59-71, 2008.
- CUN, C., ZHANG, W., CHE, W. SUN, H. Review of urban drainage and stormwater management in ancient China. **Landscape and Urban Planning**, 2019.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2011. National pollutant discharge elimination system (NPDES) definitions, 40 C.F.R. § 122.2 (2011a). Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- FERNÁNDEZ, D. S.; LUTZ, M. A. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. **Engineering Geology**, v. 111, n. 1-4, p. 90-98, 2010.
- GÓMEZ, F., JABALOYES, J., MONTERO, L., DE VICENTE, V., AND VALCUENDE, M. Green areas, the most significant indicator of the sustainability of cities: Research on their utility for urban planning. **J. Urban Plann. Dev.**, 2011.
- GUO, James CY. **Urban flood mitigation and stormwater management**. CRC Press, 2017.
- HUDSON, H. R; HARDING, J. S. **Drainage management in New Zealand: A review of existing activities and alternative management practices**. 2004.
- HUI, R; WESCOAT JR, J. L. Visualizing peri-urban and rural water conditions in Pune district, Maharashtra, India. **Geoforum**, v. 102, p. 255-266, 2019.

- JIANG, Yong; ZEVENBERGEN, Chris; MA, Yongchi. Urban pluvial flooding and stormwater management: A contemporary review of China's challenges and "sponge cities" strategy. **Environmental science & policy**, v. 80, p. 132-143, 2018.
- KEMERICH, P. D. da C., MARTINS, S. R., KOBAYAMA, M., BURIOL, G. A., BORBA, W. F.; RITTER, L. G. Avaliação da Sustentabilidade Ambiental em bacias hidrográficas mediante a aplicação do modelo P-E-R. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 10, n. 10, 2013.
- KIRBY, A. SUDS - Innovation or a tried and tested practice? **Proc. Inst. Civ. Eng. Munic. Eng.**, **158(2)**, 115–122, 2005.
- KRASNER, S. W; MITCH, W. A; MCCURRY, D. L; HANIGAN, D; WESTERHOFF, P. Formation, precursors, control, and occurrence of nitrosamines in drinking water: a review. **Water Res.**, 47 (13), pp. 4433-4450, 2013.
- Li, L. Q; SHAN, B.Q; YIN, C.Q. Storm water runoff pollution loads from an urban catchment with rainy climate in China. **Front. Env. Sci. Eng.**, 6, pp. 672-677, 2012.
- LOUREIRO, J. P. B.; DOS SANTOS, M. A. S.; RODRIGUES, H. E.; DE SOUZA, C. C. F.; REBELLO, F. K. Avaliação de sistemas de manejo de recursos naturais com base em indicadores de sustentabilidade: Uma revisão sistemática da literatura sobre o uso do método MESMIS. **Research, Society and Development**, 9(8), e538986067-e538986067, 2020. doi:10.33448/rsd-v9i8.6067
- MARTINS, M.F; CANDIDO, G.A. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para Localidades: uma proposta metodológica de construção e análise. In: CANDIDO, G.A. **Desenvolvimento Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade: formas de aplicação em contextos geográficos diversos e contingências específicas**. Campina Grande – PB: Ed. UFCG, 2010. Cap. 1.
- MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.
- MIGUEZ, M.G.; REZENDE, O.M.; VERÓL, A.P. City Growth and Urban Drainage Alternatives: Sustainability Challenge. **J. Urban Plan. Dev**, 2014.
- MIGUEZ, M. G.; REZENDE, O. M.; VERÓL, A. P. **Drenagem Urbana: Do projeto tradicional à sustentabilidade**. Elsevier Brasil, 2015.
- PENDER, G., NÉELZ, S. Use of computer models of flood inundation to facilitate communication in flood risk management. **Environmental Hazards** 7, 2007.
- PENG et al. H.Q. Peng, Y. Liu, H.W. Wang, L.M. Ma **Assessment of the service performance of drainage system and transformation of pipeline network based on urban combined sewer system model**. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22 (2015), pp. 15712-15721

- PLATE, E.J. Flood risk and flood management. **Journal of Hydrology**, 2002.
- PUJIASTUTI, R. The Initial Step for Developing Sustainable Urban Drainage System in Semarang City-Indonesia. **Procedia engineering**, v. 171, p. 1486-1494, 2017.
- RAMOS, C; REIS, E. Floods in southern Portugal: their physical and human causes, impacts and human response. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 7, n. 3, p. 267-284, 2002.
- RIBEIRO, M. A. A convivência harmônica com a água: uma lição japonesa. **Estudos Avançados**, 22 (63), 2008.
- ROY, A.H., WENGER, S.J., FLETCHER, T.D., WALSH, C.J., LADSON, A.R., SHUSTER, W.D., THURSTON, H.W., BROWN, R.R. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States. *Environ. Manage.*, 2008.
- SANTOS, L. DE P.; MARTINS FORMIGA, K.; FERREIRA, N. Construção de um indicador socioambiental e a relação com o sistema de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, v. 55, n. 2, p. 171-191, 18 jun. 2020.
- SHAVER, E. Design guideline manual - stormwater treatment devices. Auckland, New Zealand: Auckland Regional Council Technical Publication No. 10, 2004.
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.1-16, 2008.
- VASCONCELOS, A. C. F.; CÂNDIDO, G. A.; FREIRE, E. M. X. Vulnerabilidade socioambiental: proposição de temas e indicadores para cidades brasileiras. *Gaia Scientia*, 13(2), 2019.
- WONG, Tony HF. An overview of water sensitive urban design practices in Australia. **Water Practice and Technology**, v. 1, n. 1, 2006.
- Wu, Q. Zhongguo gucheng fanghong yanjiu. Beijing: **China Architecture & Building Press**, 2009.
- YU, Z., LEI, Z. Ecological research on vernacular dwellings of Guanzhong region. *Architectural Journal*, S1, 48-50, 2009.
- ZEEVALLOS MORENO, Othón. Ocupación de laderas: Incremento del riesgo por degradación ambiental urbana en Quito, Ecuador. In: **Ciudades en riesgo: Degradacion ambiental, riesgos urbanos y desastres en America Latina**. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La Red), 1996. p. 165-77.

## **CAPÍTULO I**

### **INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA**

**Social and environmental indicators as an instrument for evaluating urban drainage  
systems – a systematic review of literature**

## **Indicadores Socioambientais como instrumento de avaliação de sistemas de drenagem urbana**

### **Social and Environmental Indicators as an instrument for evaluating urban drainage systems**

#### **Resumo**

Um dos grandes desafios da atualidade é organizar a expansão urbana de forma a minimizar os impactos das enchentes nos ambientes naturais e construídos. Portanto, esta pesquisa teve como objetivo demonstrar um arcabouço teórico composto de indicadores socioambientais dos sistemas de drenagem que possam ser aplicados em uma escala de bacia ou sub-bacia urbana, permitindo avaliações no processo de tomada de decisão. O método aplicado foi a revisão sistemática de literatura em conjunto com análise bibliométrica. Após a aplicação da filtragem por tema, foram analisados 45 artigos finais. Com base na análise, foi possível encontrar 107 indicadores socioambientais que podem ser utilizados como instrumento de planejamento. Os resultados demonstraram que as características ambientais locais como tipo de solo, perfil do solo, topografia, declividade da bacia hidrográfica, distância de corpos d'água, condições climáticas, vegetação ciliar e gestão de resíduos estão relacionados à susceptibilidade de inundações, nesse caso, a dimensão ambiental foi composta por 57 indicadores.. As estratégias de manutenção e reabilitação dos sistemas de drenagem devem levar em consideração os indicadores hidrológicos, tais como capacidade de infiltração do solo e estimativa de recarga do aquífero local. Já a dimensão social foi composta por 17 indicadores, com enfoque no nível educacional e conscientização humana para lidar com águas, situação econômica da população, eficiência das políticas de ordenamento do território e envolvimento dos cidadãos. Foi possível consolidar um conjunto de indicadores que podem ser aplicados para análise de risco e vulnerabilidade à inundações, visto que engloba questões sociais, saúde e meio ambiente.

**Palavras-chave:** indicadores socioambientais; enchentes; infiltração; políticas públicas.

#### **Abstract**

One of the great challenges today is to organize urban sprawl in order to minimize the impacts of floods on natural and built environments. Therefore, this research aims to demonstrate a theoretical framework composed of socio-environmental indicators of drainage systems that can be applied at a basin or urban sub-basin scale, allowing evaluations in the decision-making process. The method applied was the systematic review of literature together with bibliometric analysis. After applying the filtering by topic, 45 final articles were analyzed. Based on the

analysis, it was possible to find 107 socio-environmental indicators that can be used as a planning instrument. The results showed that local environmental characteristics such as soil type, soil profile, topography, watershed slope, distance from water bodies, climatic conditions, riparian vegetation and waste management are related to flood susceptibility, the environmental dimension was composed of 57 indicators. . Strategies for maintenance and rehabilitation of drainage systems must take into account hydrological indicators, such as soil infiltration capacity and estimated local aquifer recharge. The social dimension was composed of 17 indicators, focusing on the educational level and human awareness of dealing with water, the population's economic situation, the efficiency of territorial planning policies and citizen involvement. It was possible to consolidate a set of indicators that can be applied to the analysis of risk and vulnerability to floods, as it encompasses social, health and environmental issues.

**Keywords:** social and environmental indicators; floods; infiltration; public policy.

## 1. Introdução

Um dos problemas ocasionados pela urbanização é o aumento dos riscos de inundações, que afetam milhões de pessoas (VITALE et al., 2020). Isso acontece porque as atividades de desenvolvimento urbano reduzem a cobertura vegetal natural e aumentam a quantidade de áreas impermeáveis, reduzindo a capacidade de infiltração da chuva na superfície do solo, com a consequente elevação da vazão máxima de escoamento superficial. Os projetos atuais do sistema de drenagem urbana, usados para gerenciar o escoamento, também tendem a ignorar o impacto das mudanças contínuas do uso do solo no volume e pico do escoamento (AHMED et al., 2017; ANKER et al., 2019).

As modificações nos leitos dos rios também alteram o hidrograma da bacia, acarretam o aumento da velocidade de escoamento, mudança da localização de áreas de inundação para jusante e aumento dos danos decorrentes de inundações oriundas de eventos chuvosos com o mesmo período de retorno. Como resultado das modificações das condições nas quais o projeto foi concebido, o sistema de drenagem pluvial se torna subdimensionado (BUTLER; DAVIES, 2011).

O objetivo da drenagem tradicional é a remoção imediata das águas por um sistema em rede, com início nas vias pelas sarjetas que continua nas galerias subterrâneas até serem encaminhadas ao exutório. É um sistema que estabelece relação causal com a forma de ocupação urbana e necessita de atualizações decorrentes de obsolescências, tais como alagamentos e inundações (BEZERRA et al., 2020).

Nesse contexto, Debbage e Shepherd (2018) destacam a importância geral de se considerar a extensão, a configuração e as tendências de expansão do desenvolvimento urbano ao planejar políticas de uso do solo, a fim de reduzir a geração de escoamento e inundações. Em um sentido amplo, os sistemas de drenagem urbana devem ser integrados ao planejamento do uso do solo e ao projeto da paisagem (KOZAK et al., 2020).

Falhas nos sistemas de drenagem urbana podem causar prejuízos sociais, ambientais e econômicos. Este impacto afeta os serviços públicos, agrava os problemas de saúde e imobiliza a cidade, com consequências negativas para a circulação de bens e pessoas (LOURENÇO et al., 2020). Liao *et al.* (2019) afirmam que a prevenção de enchentes é uma prática predominante na mitigação de riscos e normalmente é realizada por meio de infraestruturas de controle. No entanto, a prevenção pode levar à injustiça ambiental, uma vez que as medidas tradicionais não

eliminam, mas apenas redistribuem as águas, muitas vezes impondo novos riscos de cheias às pessoas em outros locais.

O foco crescente tem sido dado ao aumento da infiltração de água subsuperficial usando estruturas de desenvolvimento de baixo impacto. Essas estruturas consistem em um método de planejamento direcionado ao gerenciamento com enfoque no aumento da infiltração para reduzir o escoamento superficial (SOHN et al., 2017). Diferentes práticas de drenagem sustentável, como telhados verdes, jardim de chuva, sistemas de retenção e pavimentos porosos, têm sido propostas e implementadas no gerenciamento de águas pluviais urbanas (KOURTIS et al., 2018).

Portanto, um dos grandes desafios da atualidade é organizar a expansão urbana de forma a minimizar os impactos das enchentes nos ambientes naturais e construídos, considerando e utilizando conscientemente o solo como recurso de forma sustentável. A gestão sustentável de águas pluviais, com foco na conservação e recuperação de processos naturais tem atraído ampla atenção como solução para os desafios da frequência e gravidade crescentes desses eventos de inundação urbana.

A sustentabilidade é um esforço de longo prazo, destacando-se a necessidade de utilizar métodos de aferição, a fim de realizar comparações evolutivas. Para representar os sistemas de drenagem, é importante definir critérios objetivos que incorporem o caráter multidisciplinar. Nesse aspecto, os indicadores devem considerar características da rede, informações sobre a qualidade da água, população afetada em um evento, abrangência, frequência e magnitude das falhas, bem como ações de gestão, tais como incentivo ao uso de técnicas de infiltração (PORTO et al., 1997).

No Brasil, é comum que os indicadores sejam utilizados para avaliação e diagnósticos dos serviços de saneamento. Dessa forma, o conjunto de indicadores pode ser utilizado para avaliação de problemas, apoiando as entidades na gestão dos serviços e estabelecimento de prioridades de investimentos (LOUREIRO et al., 2020). Desta forma, torna-se necessário definir os indicadores que serão utilizados para a avaliação do sistema de drenagem, de acordo com os critérios estabelecidos previamente (CASTRO et al., 2004).

Observa-se na literatura a existência de algumas concepções para os indicadores de drenagem urbana. Moura et al. (2009) definiram indicadores econômico-financeiros, integrando-os com indicadores de desempenho para avaliação do sistema de drenagem. Silva et al. (2013) desenvolveram uma ferramenta de avaliação utilizando indicadores de

sustentabilidade. Macedo et al. (2020), criaram indicadores de desempenho com base na análise do índice de atendimento urbano de águas pluviais, grau de permeabilidade do solo, gestão e abrangência do sistema de drenagem urbana, avaliação do serviço de drenagem pluvial, gestão de eventos hidrológicos e interferências à eficácia do sistema.

As informações necessárias para construção de indicadores de drenagem dificilmente são disponibilizadas pelo poder público de forma satisfatória. Deveria envolver dados cadastrais da rede, projeto da rede de drenagem, dados hidrológicos e instrumentos de normativos e de planejamento (SOUZA, 2013). Nesse aspecto, algumas alternativas metodológicas tem sido utilizadas para representação do sistema de drenagem urbana. Assim, tanto características quantitativas, quanto características qualitativas têm sido abordadas por Kolsky e Butler (2002); Ribeiro Neto et al. (2016); Sohn et al. (2020). Nessas pesquisas, buscou-se a obtenção de indicadores que representaram o sistema como um todo, a fim de auxiliar gestores nas intervenções a serem realizadas.

Esta pesquisa teve como objetivo fazer um levantamento dos indicadores socioambientais dos sistemas de drenagem utilizados na literatura e que possam ser aplicados em uma escala de bacia ou sub-bacia urbana, permitindo avaliações no processo de tomada de decisão e elaboração de políticas públicas, constituindo-se como ferramenta de gestão.

## **2. *Materiais e Métodos***

Foram consultados artigos publicados entre os anos de 2000 a 2020, indexados nas bases Web of Science e Scopus. Os termos utilizados foram procurados no título, na lista de palavras-chave e nos resumos. Os seguintes filtros foram utilizados: “*(indicators) and (urban drainage)*”. A questão norteadora da pesquisa foi: quais indicadores socioambientais de drenagem urbana podem ser utilizados para auxiliar o processo de gestão de bacias ou sub-bacias hidrográficas? Para análise da frequência dos indicadores de acordo com a dimensão analisada e elaboração dos gráficos de evolução das publicações considerando a temática em questão, foi utilizado o software estatístico SPSS.

Após o início do processo de análise foi realizada a identificação dos artigos repetidos nas plataformas. Posteriormente foi realizada a exclusão dos artigos que não abordaram especificamente o tema indicadores socioambientais de drenagem urbana, ainda que houvesse a citação de uma das palavras-chave no título ou resumo, para isso foi utilizado o protocolo

Prisma. Ao final do levantamento, obteve-se 45 publicações, com isso buscou-se identificar os indicadores de drenagem e suas possíveis aplicações.

Posteriormente, foram analisados os artigos individualmente, a fim de identificar os indicadores apresentados de acordo com suas especificidades em social, ambiental e infraestrutura, conforme a Figura 1.

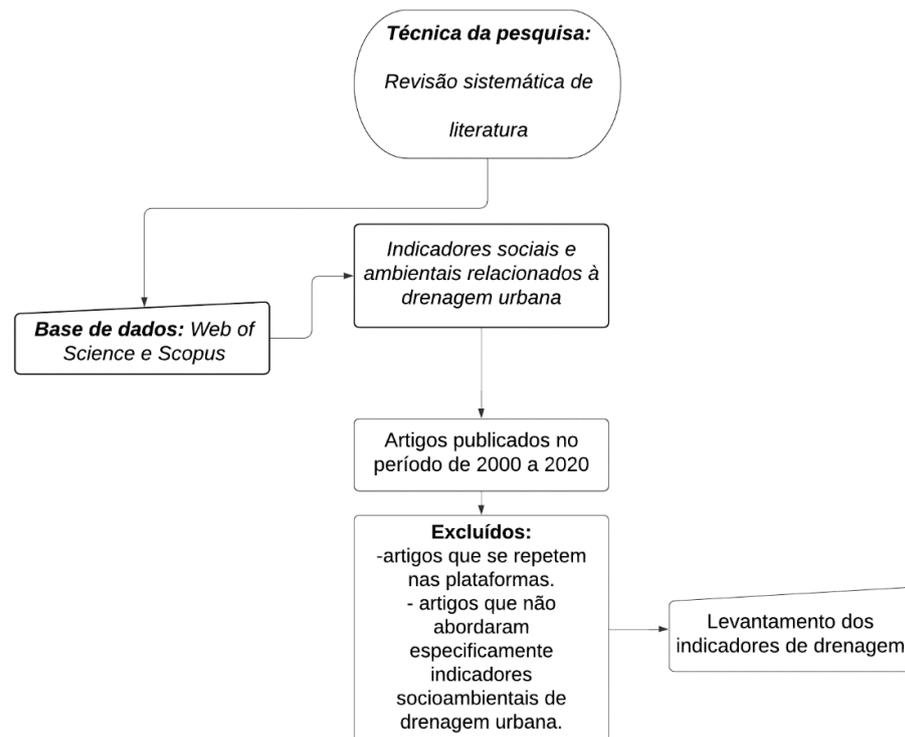


Figura 1- Etapas da Pesquisa

Na última etapa, após a revisão dos textos foi elaborado uma tabela com o levantamento dos indicadores, bem como os respectivos autores da pesquisa. Dessa forma, foi realizada uma discussão sobre os resultados apresentados e as possibilidades de utilização dos indicadores no cenário brasileiro, de forma a contribuir com o planejamento urbano.

### 3. Resultados e Discussões

Dos 45 estudos levantados, 6 deles são encontrados tanto na base Web of Science, quanto na base Scopus. Na plataforma Scopus, foram identificados 298 artigos, sendo que após a seleção, a fim de realizar o levantamento de indicadores, foram selecionados 7 artigos para

análise. Já na base Web of Science, foram encontrados 333 artigos e selecionados 45, portanto observa-se que houve sobreposição.

Considerando a abordagem dada à expressão indicadores socioambientais de drenagem urbana, notou-se grande ênfase aos estudos relacionados à técnicas compensatórias de drenagem, saneamento ambiental, sustentabilidade, além do caráter interdisciplinar de algumas pesquisas.

Observa-se um predomínio de estudos de avaliação de desempenho por meio do sistema de drenagem sustentável e geração de indicadores de risco de áreas inundáveis. Isto reforça a importância do que Caradot (2011), abordou sobre a importância da utilização de indicadores de risco para definir as medidas necessárias para tratar eventos potencialmente danosos. Os detalhes espaciais dos indicadores de risco fornecem uma ferramenta valiosa para gestão, visto que o mapa fornece uma avaliação mais direta e rápida que outros métodos.

Analisando-se os respectivos artigos, pode-se inferir que os estudos sobre indicadores socioambientais focam em aspectos relacionados à performance, indicadores de perigo, vulnerabilidade e risco na drenagem urbana. Esses sistemas tem a finalidade de prover informações visando a melhoria da qualidade social e ambiental. Dessa forma, os indicadores consistem em informações obtidas a partir da mensuração de elementos da realidade. Assim, contribuem para a realização de previsões, visando orientação para definição de políticas públicas.

De acordo com Hauger et al. (2006), os problemas típicos da drenagem urbana são: inundação dos sistemas de drenagem, esgotamento do oxigênio dissolvido em riachos e descarga de produtos químicos nas águas receptoras. Os indicadores tradicionais que descrevem o risco de inundação normalmente estão relacionados ao perigo.

A análise de risco é essencial para o planejamento e intervenção em áreas propensas a inundações. Neste aspecto, Ribeiro Neto et al. (2016), utilizaram um modelo hidráulico para gerar seis indicadores de perigo: profundidade da água, velocidade do fluxo, combinação profundidade e velocidade, carga de energia, força do escoamento e intensidade. De acordo com o levantamento realizado, percebe-se que indicadores físicos, como uso do solo, cobertura do solo, declividade, proximidade dos cursos d'água e acúmulo de vazão ajudam a explicar em termos numéricos a extensão do grau de susceptibilidade.

Com base na identificação dos indicadores, foi elaborado uma tabela para analisar a frequência dos temas apresentados nas publicações, para isso foram subdivididos em dimensão social, ambiental e infraestrutura urbana, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Frequência dos indicadores de acordo com as dimensões analisadas.

<b>Indicadores</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>
Ambiental	57	53,3
Infraestrutura	33	30,8
Social	17	15,9
<b>Total</b>	<b>107</b>	<b>100</b>

A elaboração da Tabela 1, permitiu identificar os temas abordados por cada autor ao desenvolverem a pesquisa sobre indicadores de performance, risco ou vulnerabilidade, abarcando um conjunto de temas que possuem relação direta com sistemas de drenagem urbana. Observa-se que os indicadores ambientais são mais frequentes, considerando-se a temática abordada. Ainda assim, houve representatividade dos indicadores infraestruturais e sociais.

Nesse aspecto, sobressaíram-se as abordagens sobre manutenções do sistema de drenagem, número de transbordamentos, cobertura do solo, vulnerabilidades à saúde pública, qualidade da água, indicadores de inundação, impermeabilidade e topografia. Observa-se que os estudos publicados em periódicos nacionais, normalmente utilizaram como objeto de estudo municípios densamente urbanizados, com necessidade de planejamento e gestão dos espaços urbanos.

Com base na revisão realizada de modo sistematizado, propõe-se nesta pesquisa um conjunto de indicadores socioambientais de drenagem urbana constituído por 107 indicadores sem apresentação de equacionamentos, considerando-se as bases utilizadas para análise, conforme Tabela 2. A base que mais se destacou em relação à quantidade de artigos filtrados foi a Web of Science.

Tabela 2 - Indicadores socioambientais de drenagem urbana levantados nas bases Web of Science e Scopus

<b>Autores</b>	<b>Indicadores</b>
(BIRGANI; YAZDANDOOST, 2018)	conformidade com a política pública
	cargas poluentes
	volume de escoamento
(IGROUFA; BENZERRA; SEGHIR, 2020)	taxa de tubos substituídos
	taxa de tubos reparados

	melhoria da manutenção do setor
(HAUGER; MIKKELSEN, 2006)	MOUCHEL; descarga de esgoto em córrego número de transbordamentos duração do transbordamento
(ARTINA et al., 2005)	eficiência da rede de drenagem eficiência da estação de tratamemto população atendida monitoramento e manutenção
(MOURA; BAPTISTA; BARRAUD, 2006)	recarga do aquífero qualidade da água possibilidade sanitária de transmissão de doenças condições de tráfego
(SUPRAYOGUI et al., 2018)	capacidade do canal densidade de drenagem taxa de mudança de uso do solo tempo de concentração cobertura do solo área de inundação duração média da inundação
(MÖDERL et al., 2009)	indicadores de performance
(MENDONÇA, 2019)	aceitação social do sistema de drenagem vulnerabilidades à saúde pública
(CHEN et al., 2019)	nível de desenvolvimento urbano consciência da população proporção de captura do volume de escoamento anual volume de instalações de retenção per capita
(BIRGANI; YAZDANDOOST, 2018)	indicador de resposta
(BINESH et al., 2019)	indicador de robustez e confiabilidade
(NIE et al., 2009)	indicador de inundação de superfície inundação de subsolo
(DE TOFFOL et al., 2007)	qualidade da água indicador de erosão indicador de desempenho
(MODERL; BUTLER, RAUCH, 2009)	indicador de desempenho
(MAURYA et al., 2020)	indicador de sustentabilidade
(SAGE; BERTHIER; GROMAIRE, 2020)	indicadores de eficiência de redução de volume indicador de desempenho
(PAPPALARDO et al., 2017)	indicador das características do fluxo indicador do pico de cheias
(KELLEHER; MCPHILLIPS, 2020)	indicadores topográficos indicadores de potenciais áreas de inundação
(LI, et al., 2020)	indicadores de inundação
(SONG et al., 2019)	indicador de resiliência da infraestrutura indicador de adaptação
(FONTANEDA; RAMÍREZ, 2019)	indicador socioeconômico

	indicador de plantio e vegetação
(CHENG et al., 2020)	área total de inundação
(KLEIDORFER et al., 2009)	indicadores de desempenho do sistema de drenagem
(CARADOT, 2011)	indicador de previsão de inundação
(YAO; CHEN; WEI, 2017)	indicador de risco
(BI; MONETTE; GASPERI, 2015)	impermeabilidade
(YANG, et al, 2020)	fluxo de pico da bacia
(MOURA; BAPTISTA; BARRAUD, 2007)	indicador de qualidade da água urbana
(GOUVEIA SOUZA, 2009)	exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa
(FORERO-BERNAL et al., 2017)	indicador de sensibilidade física e socioeconômica
(BACH et al., 2013)	elevação, declive, distâncias a canais e reservatórios
(FLETCHER, et al., 2007)	população sensível
(WANG; SUN; SWEETAPPLE, 2017)	indicadores de performance de sistemas de infiltração
(SEPEHRI et al., 2019)	geoindicadores
(XU et al., 2017)	vegetação, demografia e modificação do canal de drenagem
(BARROS; MENDES; CASTRO, 2015)	cargas poluentes anuais totais para sólidos suspensos totais
(CHOWDHURY et al., 2009)	volumes de escoamento totais anuais
(MOHAMED, 2019)	indicadores de qualidade da água
(SHI et al; 2019)	eficiência de redução de inundação e eficiência da redução de sólidos suspensos
(RIBEIRO NETO; BATISTA; COUTINHO, 2016)	profundidade da inundação e duração do processo
	elevação, declive, distância aos canais de descarga
	taxa de infiltração
	carga poluente por unidade de área
	educação
	estrutura de renda e idade
	drenagem de águas pluviais
	risco de falha de projeto
	facilidade de manutenção
	deterioração da qualidade da água
	oportunidade para movimentação de veículos
	precipitação
	geologia
	declividade
	direção do fluxo
	cobertura do solo
	população total
	precipitação
	altitude
	população
	economia
	infraestrutura de drenagem
	profundidade da água
	velocidade do fluxo
	sistemas de alerta

	status socioeconômico da população
(UMER; JETTEN; ETTEMA, 2019)	balanço hídrico da bacia
	profundidade e duração da inundação
	número médio de estruturas afetadas
(TRIPATHY et al., 2020)	indicadores topográficos
	indicadores socioeconômicos
(LIU et al., 2013)	custos de construção e instalações dos tubos
	custos da operação das instalações de tratamento e das redes das tubulações
	emissões de esgoto na área de planejamento
(FRENI; MANNINA; VIVIANI, 2010)	volume de transbordamentos
(BARDIN et al., 2002)	frequência e quantidade da inundação
	contribuição para recarga das águas subterrâneas
	segurança e saúde da população

Quanto às datas de publicações, percebe-se o aumento de interesse da temática abordada, ainda que na Figura 2, os resultados do gráfico tenham sido baseados na análise após a seleção dos artigos utilizados para o levantamento de indicadores. Este aspecto demonstra o interesse da comunidade acadêmica diante dessa temática.

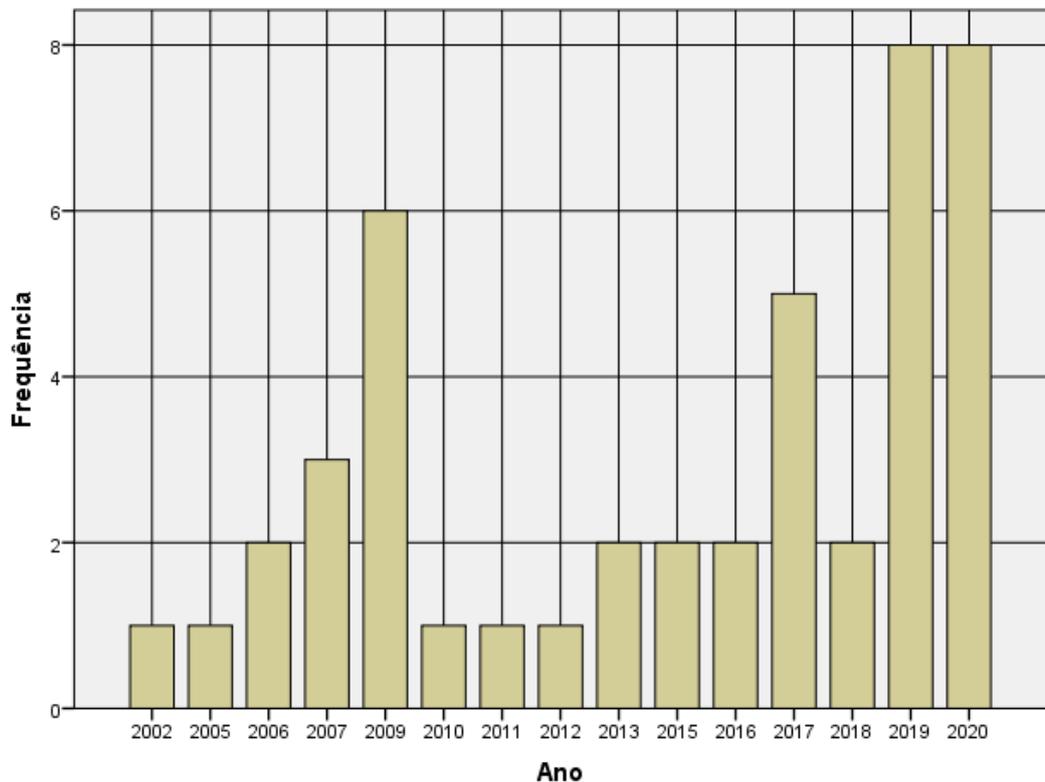


Figura 2 - Gráfico de evolução das publicações analisadas.

Com base nos artigos analisados, foi possível encontrar 107 indicadores socioambientais que podem ser utilizados como instrumento de planejamento dos sistemas de drenagem urbana. É importante observar que os estudos considerados na revisão sistemática apontaram a dimensão ambiental como a mais frequente, representando 53,3% dos indicadores.

A Figura 3 demonstra as publicações das revistas analisadas, com destaque para a Revista “Water Science and Technology” com 14 publicações, conforme observa-se na Figura 3.

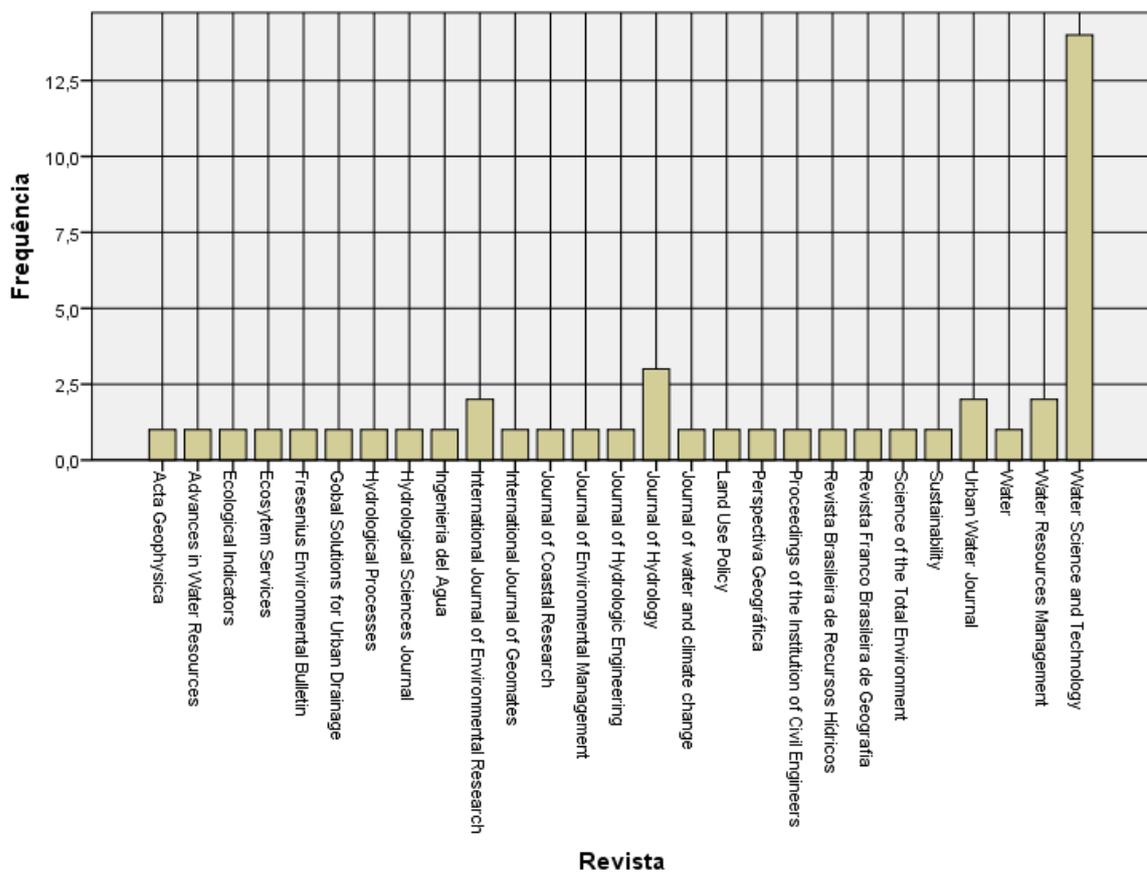


Figura 3 - Gráfico da relação de revistas.

A identificação dos indicadores visa possibilitar o conhecimento sobre o quantitativo de variáveis, a fim de retratarem o respectivo tema. Assim, os indicadores socioambientais traçam um perfil dos municípios, por meio da análise de questões ambientais, qualidade de vida, gestão pública, infraestrutura e participação ativa da população no que tange sistemas de drenagem urbana.

Características ambientais locais como cobertura do solo, perfil do solo, topografia, declividade da bacia hidrográfica, distância de corpos d'água, condições climáticas e vegetação ciliar (RIBEIRO NETO et al., 2016; SUPRAYOGUI et al., 2018; MOHAMED, 2019) devem ser levantados porque estão relacionados à susceptibilidade de inundações. Nesse contexto, observa-se que a gestão integrada de águas e meio ambiente pode ser realizada por meio da restauração, despoluição e revitalização dos cursos d'água.

A importância da gestão de resíduos pode ser analisada por meio de indicadores como descarga de esgoto em córrego, sobrecarga de poluentes nas estações de tratamento, sistema de saneamento inadequado, poluição das águas pluviais, qualidade da água do rio e doenças transmitidas pela água (HAUGER et al., 2006; BACH et al., 2013). Observa-se no cenário atual um aumento na geração de resíduos, o que ocasiona como consequência a possibilidade de aumento da carga de sedimentos nos drenos e concentração de sólidos suspensos totais na rede coletora e na superfície, favorecendo pontos de alagamento e contaminação das águas pluviais por poluição.

A gestão do sistema de drenagem urbana pode ser realizada por meio de políticas públicas, melhoria da manutenção do setor de drenagem urbana, zoneamento, ações de educação ambiental e revitalização de curso d'água. Visando a implementação de uma gestão adequada, a elaboração de manuais de projeto, o acompanhamento de sistemas em construção e pesquisas de novas técnicas com objetivo de melhoria do sistema se faz essencial (BIRGANI e YAZDANDOOST, 2018; IGROUFA et al., 2020).

Nesse contexto, pode-se utilizar os indicadores de risco e vulnerabilidade, tais como volume do escoamento, indicadores de performance, volume de instalações de retenção, indicadores de eficiência de redução de volume, proximidade de cursos de água, velocidade e duração do transbordamento, chuva diária e danos ocasionados, a fim de conhecer as causas de perigo e prevenção (HAUGER et al., 2006). As estratégias de manutenção e reabilitação dos sistemas de drenagem devem levar em consideração os indicadores hidrológicos, tais como capacidade de infiltração do solo, estimativa de recarga do aquífero local, nível d'água, velocidade de fluxo, pico das chuvas e histórico de eventos (MOURA et al., 2006).

Em relação à infraestrutura, observa-se que o sistema de drenagem sustentável é destacado em diversas pesquisas como aliado do sistema de drenagem tradicional. Dessa forma, cabe destacar indicadores como a porcentagem de pavimentos permeáveis, uso de técnicas de

retenção e infiltração, espaçamento adequado entre sarjetas e sumidouros e a manutenção do sistema compensatório de drenagem (SEPEHRI et al., 2019).

A dimensão social está composta por 17 indicadores, com enfoque no nível educacional e conscientização humana para lidar com águas, situação econômica da população, eficiência das políticas de desenvolvimento urbano e ordenamento do território, densidade populacional, existência de mapas de vulnerabilidade, proporção de pessoas propensas a perigos, presença de políticas de uso do solo e envolvimento dos cidadãos (BARDIN et al., 2002; ARTINA et al., 2005; RIBEIRO NETO et al., 2016; CHEN et al., 2019).

Os indicadores sociais estão relacionados à análise de aspectos que influenciam a qualidade de vida das pessoas no acesso aos serviços essenciais oferecidos à população. Assim, revelam as questões sociais das pessoas que vivem em zonas periféricas que não dispõem de acesso à infraestrutura, tais como saneamento básico e condições habitacionais. A participação da população no desenvolvimento de políticas públicas e ações ambientais permitem um melhor estruturamento dos municípios, contribuindo para a gestão pública.

#### **4. Considerações Finais**

Nesta pesquisa, foi utilizada a revisão sistemática de literatura em conjunto com a revisão bibliométrica para identificar os indicadores socioambientais que podem ser utilizados como instrumento de gestão e planejamento dos sistemas de drenagem urbana. Inicialmente 636 artigos foram localizados nas bases *Web of Science* e *Scopus* entre 2000 e 2020. Após a aplicação do método proposto por Garza-Reyes (2015), 45 artigos foram selecionados por apresentarem indicadores de drenagem. Dessa forma, esse estudo possibilitou gerar conhecimentos sobre os artigos, tendo como resultado os 107 indicadores socioambientais. Ainda que o número de pesquisas na área tenha crescido nos últimos anos, observa-se carência de aplicação desses dados.

Esta pesquisa permitiu a consolidação de um conjunto de indicadores com a finalidade de proporcionar estudos que englobem aspectos tais como: o nível de urbanização, a proporção de áreas impermeáveis, a cobertura do sistema de drenagem superficial, a limpeza e desobstrução do sistema, a incidência de alagamentos no município e a cobertura de serviços de coleta de resíduos sólidos. Esses indicadores podem ser aplicados para análise de risco e vulnerabilidade às inundações, visto que engloba questões sociais, saúde e meio ambiente, visando o bem estar da cidade. Também podem contribuir para o diagnóstico e até mesmo

soluções de problemas que comprometam o meio ambiente, auxiliando no desenvolvimento de técnicas que favoreçam a infiltração e contribuam para o aumento dos sistemas de drenagem sustentáveis.

A dimensão ambiental representou 53,3 % dos indicadores. As dimensões sociais e de infraestrutura também foram representativas, demonstrando a relevância dos estudos que envolvem problemáticas decorrentes da falta de gerenciamento das águas pluviais, o monitoramento e o direcionamento de ações mitigadoras. Cabe ressaltar que foi observado a necessidade de publicação de estudos que contribuam com a mensuração de métricas, de forma a possibilitar avanços nas pesquisas e intervenções em casos necessários.

Para estudos futuros, sugere-se a aplicação dos indicadores levantados e sugestão de novos indicadores, a fim de possibilitar a aplicação da pesquisa em grandes centros urbanos, com problemas recorrentes de alagamentos e inundações, a fim de contribuir para um plano de avaliação de políticas e programas específicos para atender cada região.

### ***Agradecimentos***

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPEG) pelo auxílio concedido (Processo 201810267000666).

## Referências

- Ahmed, K.; Chung, E. S.; Song, J. Y.; Shahid, S. Effective design and planning specification of low impact development practices using Water Management Analysis Module (WMAM): Case of Malaysia. *Water*, 9(3), 173, 2017. doi:10.3390/w9030173
- Anker, Y.; Mirlas, V.; Gimburg, A.; Zilberbrand, M.; Nakonechny, F.; Meir, I.; Inbar, M. Effect of rapid urbanization on Mediterranean karstic mountainous drainage basins. *Sustainable Cities and Society*, 51, 101704, 2019. doi:10.1016/j.scs.2019.101704
- Artina, S.; Becciu, G.; Maglionico, M.; Paoletti, A.; Sanfilippo, U. Performance indicators for the efficiency analysis of urban drainage systems. *Water science and technology*, 51(2), 109-118, 2005. doi: 10.2166/wst.2005.0038
- Bach, P. M.; Deletic, A.; Urich, C.; Sitzenfrei, R.; Kleidorfer, M.; Rauch, W.; McCarthy, D. T. Modelling interactions between lot-scale decentralised water infrastructure and urban form—a case study on infiltration systems. *Water resources management*, 27(14), 4845-4863, 2013. doi: 10.1007/s11269-013-0442-9
- Bardin, J. P.; Barraud, S.; Alfakih, E.; Dechesne, M. Performance assessment of stormwater infiltration strategies: A multi-indicator approach. *Global solutions for urban drainage*, 1-14, 2002. doi:10.1061/40644(2002)38
- Barros, M. V. F, Mendes, C., Castro, P. H. M. Social-environmental vulnerability to floods in urban areas of Londrina city-PR. *Confins-Revue Franco-Bresilienne de Geographie-Revista Franco-Brasileira de Geografia*, 24, 2015. doi: <https://doi.org/10.4000/confins.10228>
- Bezerra, M. D. C. D. L.; Oliveira, A. D. N.; Costa, M. E. L.; Koide, S. Simulação de técnicas de infraestrutura verde de drenagem urbana para captação do escoamento superficial. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 16(40), 1-16, 2020.
- Bi, E. G.; Monette, F.; Gasperi, J. Analysis of the influence of rainfall variables on urban effluents concentrations and fluxes in wet weather. *Journal of Hydrology*, 523, 320-332, 2015. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.01.017
- Binesh, N.; Niksokhan, M. H.; Sarang, A.; Rauch, W. Improving sustainability of urban drainage systems for climate change adaptation using best management practices. A case study

of Tehran, Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 64(4), 381-404, 2019. doi: 10.1080/02626667.2019.1585857

Birgani, Y. T.; Yazdandoost, F. Resilience in urban drainage risk management systems. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 169(1), 3-16, 2016. doi: 0.1680/wama.14.00043

Birgani, Y.T; Yazdandoost, F. An integrated framework to evaluate resilient-sustainable urban drainage management plans using a combined-adaptive MCDM technique. *Water Resources Management*, 32(8), 2817-2835, 2018. doi: 10.1007/s11269-018-1960-2

Butler, D.; Davies, J. W. *Urban Drainage*. New York: Spon Press, 3. ed., 2011.

Caradot, N.; Granger, D.; Chapgier, J.; Cherqui, F.; Chocat, B. Urban flood risk assessment using sewer flooding databases. *Water science and technology*, 64(4), 832-840, 2011. doi: 10.2166/wst.2011.611

Castro, L. M. A. D.; Baptista, M. B.; Cordeiro Netto, O. D. M. Análise Multicritério para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana: Proposição de Indicadores e de Sistemática de Estudo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 9(4), 05-19, 2004. Disponível em: <[https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/30/6f432d324627eb2288c1efc77f68ce95\\_3c2ad480b3655705a1b531f3c68c279f.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/30/6f432d324627eb2288c1efc77f68ce95_3c2ad480b3655705a1b531f3c68c279f.pdf)>. Acesso em dez. 2021.

Chen, B.; Ma, W.; Xu, R.; Zhang, J. Building an indicator-based assessment framework for adaptive capacity of drainage systems in Beijing. *Journal of Water and Climate Change*, 10(2), 249-262., 2019. doi:10.2166/wcc.2018.156

Cheng, T.; Xu, Z.; Yang, H.; Hong, S.; Leitao, J. P. Analysis of effect of rainfall patterns on urban flood process by coupled hydrological and hydrodynamic modeling. *Journal of Hydrologic Engineering*, 25(1), 04019061., 2020. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001867

Chowdhury, R. K.; Zaman, A. U. Selection of the optimal alternative: rehabilitation of a regional drainage channel in Bangladesh. *Urban water journal*, 6(5), 395-405, 2009. doi:10.1080/15730620902970011

- Debbage, N.; Shepherd, J. M. The influence of urban development patterns on streamflow characteristics in the Charlanta Megaregion. *Water Resources Research*, 54(5), 3728-3747, 2018. doi:10.1029/2017WR021594
- Fletcher, T. D.; Mitchell, V.; Deletic, A.; Ladson, T. R.; Seven, A. Is stormwater harvesting beneficial to urban waterway environmental flows? *Water Science and Technology*, 55(4), 265-272, 2007. doi:10.2166/wst.2007.117
- Forero-Bernal, C. A.; Zabala-Parra, P. A.; Boada-Rodríguez, A. Space-time analysis of the anthropic incidence in the Cauca river basin, Department of Valle, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 22(1), 127-146, 2017. doi:10.19053/01233769.5861
- Freni, G.; Mannina, G.; Viviani, G. Emission standards versus immission standards for assessing the impact of urban drainage on ephemeral receiving water bodies. *Water Science and Technology*, 61(6), 1617-1629, 2010. doi:10.2166/wst.2010.887
- Garza-Reyes, J. A. Green lean and the need for Six Sigma. *Int. J. Lean Six Sigma* 6, 226–248, 2015. doi:10.1108/IJLSS-04-2014-0010
- Gouveia Souza, C. R. Flood risk assessment in coastal drainage basins through a multivariate analysis within a GIS-based model. *Proceedings of the ICS (Portugal, 2009), Journal of Coastal Research, Special Issue*, (56), 900-904., 2009.
- Hauger, M. B.; Mouchel, J. M.; Mikkelsen, P. S. Indicators of hazard, vulnerability and risk in urban drainage. *Water science and technology*, 54(6-7), 441-450, 2006. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2006.622>
- Igroufa, M.; Benzerra, A.; Seghir, A. Development of an assessment tool for infrastructure asset management of urban drainage systems. *Water Science and Technology*, 82(3), 537-548, 2020. doi:10.2166/wst.2020.356
- Kelleher, C.; McPhillips, L. Exploring the application of topographic indices in urban areas as indicators of pluvial flooding locations. *Hydrological Processes*, 34(3), 780-794, 2020. doi:10.1002/hyp.13628
- Kleidorfer, M.; Möderl, M.; Sitzenfrei, R.; Urich, C.; Rauch, W. A case independent approach on the impact of climate change effects on combined sewer system performance. *Water science and technology*, 60(6), 1555-1564, 2009. doi:10.2166/wst.2009.520

- Kolsky, P.; Butler, D. Performance indicators for urban storm drainage in developing countries. *Urban water*, 4(2), 137-144, 2002. doi:10.1016/S1462-0758(02)00011-0
- Kourtis, I. M.; Tsihrintzis, V. A.; Baltas, E. Simulation of low impact development (LID) practices and comparison with conventional drainage solutions. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 2(11), 640, 2018. doi:10.3390/proceedings2110640
- Kozak, D.; Henderson, H.; de Castro Mazarro, A.; Rotbart, D.; Aradas, R. Blue-green infrastructure (BGI) in dense urban watersheds. The case of the Medrano stream basin (MSB) in Buenos Aires. *Sustainability*, 12(6), 2163, 2020. doi:10.3390/su12062163
- Li, J.; Hassan, D.; Brewer, S.; Sitzenfrei, R. Is Clustering Time-Series Water Depth Useful? An Exploratory Study for Flooding Detection in Urban Drainage Systems. *Water*, 12(9), 2433, 2020. doi:10.3390/w12092433
- Liao, K. H.; Chan, J. K. H.; Huang, Y. L. Environmental justice and flood prevention: The moral cost of floodwater redistribution. *Landscape and urban planning*, 189, 36-45, 2019. doi:10.1016/j.landurbplan.2019.04.012
- Liu, L.; Zeng, S.; Dong, X.; Chen, J. Design and assessment of urban drainage and water reuse systems for the reconstruction of formerly industrial areas: a case in Beijing. *Water science and technology*, 67(1), 55-62, 2013. doi:10.2166/wst.2012.516
- Loureiro, J. P. B.; dos Santos, M. A. S.; Rodrigues, H. E.; de Souza, C. C. F.; Rebello, F. K. Avaliação de sistemas de manejo de recursos naturais com base em indicadores de sustentabilidade: Uma revisão sistemática da literatura sobre o uso do método MESMIS. *Research, Society and Development*, 9(8), e538986067-e538986067, 2020. doi:10.33448/rsd-v9i8.6067
- Lourenço, I. B.; Guimaraes, L. F.; Alves, M. B.; Miguez, M. G. Land as a sustainable resource in city planning: The use of open spaces and drainage systems to structure environmental and urban needs. *Journal of Cleaner Production*, 276, 123096, 2020. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123096
- Macedo, F. F., Vieira, F. H., Furigo, R. D. F. R. Indicadores de manutenção do sistema de drenagem urbana em Mogi Mirim. *Foco: caderno de estudos e pesquisas*, (15), 59-78, 2020.

- Maurya, S. P.; Singh, P. K.; Ohri, A.; Singh, R. Identification of indicators for sustainable urban water development planning. *Ecological Indicators*, 108, 105691, 2020. doi:10.1016/j.ecolind.2019.105691
- Möderl, M.; Butler, D.; Rauch, W. A stochastic approach for automatic generation of urban drainage systems. *Water Science and Technology*, 59(6), 1137-1143, 2009. doi:10.2166/wst.2009.097
- Möderl, M.; Kleidorfer, M.; Sitzenfrei, R.; Rauch, W. (2009) Identifying weak points of urban drainage systems by means of VulNetUD. *Water Science and Technology*, 60(10), 2507-2513, 2009. doi: 10.2166/wst.2009.664
- Mohamed, S. A. Application of satellite image processing and GIS-Spatial modeling for mapping urban areas prone to flash floods in Qena governorate, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 158, 103507, 2019. doi:10.1016/j.jafrearsci.2019.05.015
- Moura, P. M., Baptista, M. B., & Barraud, S. Avaliação multicritério de sistemas de drenagem urbana. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 6(1), 31-42, 2009.
- Moura, P. M., Baptista, M. B., & Barraud, S. Comparison between two methodologies for urban drainage decision aid. *Water science and technology*, 54(6-7), 493-499, 2006. doi:10.2166/wst.2006.612
- Moura, P.; Barraud, S.; Baptista, M. Multicriteria procedure for the design and the management of infiltration systems. *Water science and technology*, 55(4), 145-153, 2007. doi:10.2166/wst.2007.104
- Nie, L.; Lindholm, O.; Lindholm, G.; Syversen, E. Impacts of climate change on urban drainage systems—a case study in Fredrikstad, Norway. *Urban Water Journal*, 6(4), 323-332, 2009. doi:10.1080/15730620802600924
- Pappalardo, V.; La Rosa, D.; Campisano, A.; La Greca, P. The potential of green infrastructure application in urban runoff control for land use planning: A preliminary evaluation from a southern Italy case study. *Ecosystem services*, 26, 345-354, 2017. doi:10.1016/j.ecoser.2017.04.015
- Porto, R.; Zahed Filho, K.; Tucci, C. E.; Bidone, F. Drenagem urbana. *Hidrologia: ciência e aplicação*, 2, 805-847, 1997.

Ribeiro Neto, A.; Batista, L. F. D. R.; Coutinho, R. Q. Methodologies for generation of hazard indicator maps and flood prone areas: municipality of Ipojuca/PE. *RBRH*, 21, 377-390, 2016. doi:10.21168/rbrh.v21n2.p377-390

Ripol, B., Pinheiro, H., Lopes, D. D. Seleção de indicadores de sustentabilidade para avaliação do sistema de drenagem urbana. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 1(1).

Sage, J.; Berthier, E.; Gromaire, M. C. Modeling Soil Moisture Redistribution and Infiltration Dynamics in Urban Drainage Systems. *Journal of Hydrologic Engineering*, 25(9), 04020041, 2020. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001978

Sañudo-Fontaneda, L. A.; Robina-Ramírez, R. Bringing community perceptions into sustainable urban drainage systems: The experience of Extremadura, Spain. *Land Use Policy*, 89, 104251, 2019. doi:10.1016/j.landusepol.2019.104251

Sepehri, M.; Malekinezhad, H.; Hosseini, S. Z.; Ildoromi, A. R. Assessment of flood hazard mapping in urban areas using entropy weighting method: a case study in Hamadan city, Iran. *Acta Geophysica*, 67(5), 1435-1449, 2019. doi: 0.1007/s11600-019-00342-x

Shi, Y.; Zhai, G.; Zhou, S.; Lu, Y.; Chen, W.; Deng, J. How can cities respond to flood disaster risks under multi-scenario simulation? A case study of Xiamen, China. *International journal of environmental research and public health*, 16(4), 618, 2019. doi:https://doi.org/10.3390/ijerph16040618

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Brasília: Ministério das Cidades: *Secretaria Nacional de Saneamento Básico*, 2018.

Sohn, W.; Kim, J. H.; Li, M. H. Low-impact development for impervious surface connectivity mitigation: assessment of directly connected impervious areas (DCIAs). *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(10), 1871-1889, 2017. doi:10.1080/09640568.2016.1264929

Sohn, W.; Brody, S. D.; Kim, J. H.; Li, M. H. How effective are drainage systems in mitigating flood losses?. *Cities*, 107, 102917, 2020. doi:10.1016/j.cities.2020.102917

Song, J.; Yang, R.; Chang, Z.; Li, W.; Wu, J. Adaptation as an indicator of measuring low-impact-development effectiveness in urban flooding risk mitigation. *Science of the Total Environment*, 696, 133764, 2019. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.133764

- Souza, M. A. A.; Mendonça, E. C. Uma metodologia multiobjetivo e multicritério para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. *Ingeniería del agua*, 23(2), 89-106, 2019. doi:10.1029/2017WR021594
- Souza, V. C. B. Gestão da drenagem urbana no Brasil: Desafios para a sustentabilidade. *Revista eletrônica de gestão e tecnologias ambientais*, 1(1), 58-72, 2013. doi:10.9771/gesta.v1i1.7105
- Suprayogi, H.; Bisri, M.; Limantara, L. M.; Andawayanti, U. Service index modeling of urban drainage network. *GEOMATE Journal*, 15(50), 95-100, 2018. doi: 10.21660/2018.50
- Toffol, S.; Engelhard, C.; Rauch, W. Combined sewer system versus separate system—a comparison of ecological and economical performance indicators. *Water science and technology*, 55(4), 255-264, 2007. doi:10.2166/wst.2007.116
- Tripathy, S. S.; Vittal, H.; Karmakar, S.; Ghosh, S. Flood risk forecasting at weather to medium range incorporating weather model, topography, socio-economic information and land use exposure. *Advances in Water Resources*, 146, 103785, 2020. doi:10.1016/j.advwatres.2020.103785
- Umer, Y. M.; Jetten, V. G.; Ettema, J. Sensitivity of flood dynamics to different soil information sources in urbanized areas. *Journal of hydrology*, 577, 123945, 2019. doi:10.1016/j.jhydrol.2019.123945
- Vitale, C.; Meijerink, S.; Moccia, F. D.; Ache, P. Urban flood resilience, a discursive-institutional analysis of planning practices in the Metropolitan City of Milan. *Land use policy*, 95, 104575, 2020. doi: 10.1016/j.landusepol.2020.104575
- Xu, Z.; Xiong, L.; Li, H.; Liao, Z.; Yin, H.; Wu, J.; Chen, H. Influences of rainfall variables and antecedent discharge on urban effluent concentrations and loads in wet weather. *Water Science and Technology*, 75(7), 1584-1598, 2017. doi:10.2166/wst.2017.020
- Wang, M.; Sun, Y.; Sweetapple, C. Optimization of storage tank locations in an urban stormwater drainage system using a two-stage approach. *Journal of Environmental Management*, 204, 31-38, 2017. doi:10.1016/j.jenvman.2017.08.024
- Yang, Q.; Zhang, S.; Dai, Q.; Yao, R. Assessment of Community Vulnerability to Different Types of Urban Floods: A Case for Lishui City, China. *Sustainability*, 12(19), 7865, 2020. doi:10.3390/su12197865

Yao, L.; Chen, L.; Wei, W. Exploring the linkage between urban flood risk and spatial patterns in small urbanized catchments of Beijing, China. *International journal of environmental research and public health*, 14(3), 239, 2017. doi:10.3390/ijerph14030239

## **CAPÍTULO II**

### **CONSTRUÇÃO DE UM INDICADOR SOCIOAMBIENTAL E A RELAÇÃO COM O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA**

**Construction of a socioenvironmental indicator and the relationship with the urban drainage system**

## **CONSTRUÇÃO DE UM INDICADOR SOCIOAMBIENTAL E A RELAÇÃO COM O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA**

**Construction of a socioenvironmental indicator and the relationship with the urban drainage system**

**Layara de Paula Sousa Santos**

**Klebber Teodomiro Martins Formiga**

**Nilson Clementino Ferreira**

**Publicação: Revista Brasileira de Ciências Ambientais**

**DOI:10.5327/Z2176-947820200638**

### **RESUMO**

Os indicadores socioambientais constituem uma base útil à tomada de decisões, porque permitem agregar informações consideradas importantes pelos gestores e pela comunidade. Este trabalho teve como objetivo correlacionar indicadores de vulnerabilidade socioambiental no estado de Goiás com o sistema de drenagem urbana. Os conjuntos de dados disponibilizados para as análises desenvolvidas nesta pesquisa referem-se aos resultados do Censo Demográfico 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Para o desenvolvimento das métricas foi utilizada a técnica de Análise Fatorial Exploratória. A partir dos 3 índices desenvolvidos: fragilidade ambiental, qualidade infraestrutural e qualidade social, foi desenvolvido um final que engloba todas as variáveis. Os resultados mostraram que setores com melhores sistemas de drenagem (maiores proporções de domicílios com bueiro/boca de lobo e meio fio/guia) tendem a apresentar maiores indicadores de qualidade social e infraestrutural e menores valores de fragilidade ambiental.

**Palavras-chave:** análise fatorial exploratória; vulnerabilidade; Estado de Goiás.

### **ABSTRACT**

Social and environmental indicators provide a useful basis for decision making because they allow the aggregation of information considered important by managers and the community. This study aimed to correlate indicators of social and environmental vulnerability in the state of Goiás with the urban drainage system. The data sets available for the analyzes developed in

this research refer to the results of the 2010 Demographic Census of the Brazilian Institute of Geography and Statistics. For the development of the metrics the Exploratory Factor Analysis technique was used. From the 3 indices developed: environmental fragility, infrastructural quality and social quality, an end was developed that encompasses all variables. The results showed that sectors with better drainage systems (larger proportions of households with manhole / lobe mouth and curb / guide) tend to have higher indicators of social and infrastructural quality and lower values of environmental fragility.

**Keywords:** exploratory factor analysis; vulnerability; Goiás State.

## INTRODUÇÃO

As inundações urbanas podem causar perdas econômicas e sociais, o que ocasiona impactos em vários aspectos da cidade, variando desde risco à saúde até perdas públicas e privadas. O desenvolvimento de uma área urbana que impermeabiliza a superfície do solo tem um efeito significativo nesses processos, visto que aumentam a quantidade de escoamento superficial em relação à infiltração (BUTLER; DAVIES, 2011).

No Brasil, observa-se a busca por um sistema de drenagem hidraulicamente eficiente, com enfoque na visão higienista, para isso há a necessidade de criar estruturas de micro e macrodrenagem. No entanto, observa-se que o resultado dessa abordagem provoca um distanciamento entre planejamento e sustentabilidade dos sistemas de drenagem (SOUZA, 2013).

Em municípios densamente urbanizados, como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, os córregos, rios e riachos desapareceram ou transformaram-se em canais, foram tampados, transpostos por pontes, ou canalizados. Há constantes construções de avenidas e marginais em áreas de várzeas, que são espaços úmidos e alagadiços impróprios para construção, este aspecto favorece a ocorrência de enchentes (ARRUDA, 2008).

O redesenho da drenagem ocorre principalmente devido ao aumento permanente das vazões produzidas a montante e em função da degradação da qualidade da água dos rios. Há despejos que são lançados sem tratamento algum, com isso, observa-se a precariedade do saneamento agravada pela poluição ambiental e ocupação irregular das margens (GANDARA, 2017).

Alguns autores como Neves e Tucci (2011); Lee et al. (2017); El Hawary e Shaban (2018), apresentaram estudos sobre qualidade da água do sistema de drenagem. As pesquisas demonstraram que a qualidade da água da rede pluvial depende da intensidade da precipitação, distribuição espacial e temporal, período do ano, tipo de uso do solo e limpeza urbana. Dessa forma, fica evidente a relação entre sistema de drenagem e saneamento básico.

A escolha do sistema de drenagem mais adequado pode ser realizada por meio da comparação de alternativas de projeto. Essas análises podem ser feitas por meio de indicadores. De acordo com Mitchell (1996), indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma determinada situação. O indicador pode ser compreendido como um parâmetro selecionado e considerado isoladamente, ou combinado com outros para refletir as

condições dos sistemas analisados. De forma simplificada, índice é o valor agregado final de todo procedimento de cálculo onde se utilizam, inclusive indicadores como variáveis que o compõem (SHIELDS et al; 2002). No aspecto desta pesquisa, a necessidade de estabelecer índices e indicadores relaciona-se à importância desses parâmetros como princípios técnicos para ordenamento do território.

O uso indevido do solo pode aumentar a vulnerabilidade dos indivíduos e das comunidades em relação às catástrofes naturais. Nesse âmbito, Bosco, Oliveira e Young (2019) avaliaram a vulnerabilidade socioambiental relativa à ocorrência de eventos geológicos, mais precisamente deslizamentos decorrentes de chuvas. Para isso, utilizaram indicadores construídos a partir de variáveis socioeconômicas e ambientais.

Kolsky e Butler (2002) descreveram aspectos conceituais e práticos de indicadores de desempenho de drenagem. A pesquisa considerou abordagens práticas de desempenho, com base em experiências de campo na Índia. Assim, foram obtidas conclusões gerais sobre os indicadores de desempenho de drenagem, com enfoque no desafio de encontrar indicadores válidos, relativamente fáceis de medir e úteis para o tomador de decisão.

Berggren (2008) analisou indicadores que podem ser utilizados para descrever e comparar os impactos negativos e auxiliar na escolha de medidas de adaptação dos sistemas de drenagem urbana. Os impactos foram analisados por meio de indicadores que consideraram o comportamento do sistema durante e após um evento. Dessa forma, obteve-se a descrição de desempenho, a capacidade excedida e as consequências do excesso de vazão.

Malta, Costa e Magrini (2017) propuseram um índice de vulnerabilidade socioambiental construído por meio de análise multicritério de apoio à decisão. Foi proposto um índice composto por quinze indicadores formulados com base em pesquisas e discussões com especialistas das áreas de sociologia, economia, planejamento urbano, meio ambiente, saúde e segurança.

Observa-se que a avaliação ambiental da qualidade do sistema de drenagem urbana consolidou-se como uma etapa importante no processo de planejamento, devido a possibilidade de favorecer a formulação e seleção de alternativas. Dessa forma, os indicadores podem ser utilizados, já que permitem o monitoramento das condições de vida de uma população.

O primeiro passo para construir indicadores consiste em definir que tipo de indicador que se deseja criar. Um dos procedimentos utilizados para transformar conceitos abstratos em

indicadores consiste em elaborar índices. Para construção de indicadores, o modelo utilizado deve ser capaz de estimar em que medida a correlação entre as variáveis observadas podem ser agrupadas em um menor número de variáveis latentes. Posteriormente, a fim de validá-lo inicialmente, o indicador criado pode ser ilustrado por meio de dados reais, com a obtenção de resultados satisfatórios (FIGUEIREDO FILHO et al., 2013).

Nesse aspecto, o trabalho de Castro, Baptista e Netto (2004) teve como objetivo a proposição de indicadores para avaliação do sistema de drenagem urbana. Para validação, os indicadores foram aplicados e verificados por meio de análises multicritério em três estudos de caso, incluindo sistemas clássicos, intermediários e alternativos. Nesse estudo, nem todos os aspectos analisados apresentaram caráter quantitativo, dessa forma, alguns indicadores foram fundamentados em avaliações subjetivas. Os resultados mostraram-se potencialmente úteis, como importante ferramenta de auxílio à tomada de decisão.

Alves (2006) teve como objetivo operacionalizar a categoria vulnerabilidade socioambiental no município de São Paulo. Para isso, foram construídos indicadores para representar as dimensões dessa vulnerabilidade: risco ambiental, degradação ambiental e vulnerabilidade social. Para construir o objeto de análise, o pesquisador operacionalizou a referida categoria, por meio do mapa de vulnerabilidade social da população do município estudado.

Ojima e Mandarola Júnior (2010), realizaram uma pesquisa bibliográfica sobre construção de indicadores de sustentabilidade para ajudar avaliar a vulnerabilidade. A finalidade do estudo foi possibilitar a identificação de lugares mais expostos à riscos, com o intuito de potencializar a eficiência e alcance de políticas públicas.

Benzerra et al. (2012) desenvolveu uma metodologia para apoiar a gestão sustentável dos sistemas de drenagem urbana. Os autores avaliaram o desempenho do sistema por meio do método da média ponderada para agregar indicadores ou critérios ponderados usando o processo de hierarquia analítica. A metodologia foi aplicada a um estudo de caso real na Argélia. Os resultados obtidos forneceram informações úteis para aplicativos operacionais e possibilitou também identificar os objetivos que requerem melhorias.

Dentre os autores que têm se dedicado a estudos de vulnerabilidade socioambiental, construção e validação de indicadores, encontram-se Guimarães et al. (2014), que formularam um indicador composto, denominado índice de vulnerabilidade socioambiental em locais propensos à ocorrência de inundações. Para classificação dos municípios, os autores utilizaram

procedimentos de análise multivariada. A validação nesse caso foi verificada por meio do teste de Kaiser- Meyer- Olkin (KMO), o qual resultou numa avaliação de adequabilidade do método utilizado, considerando-se o conjunto de dados utilizados.

Nesse contexto, a partir dos finais da década de 1980 e na década de 1990 surge o uso de programas computacionais estatísticos para estudos de vulnerabilidade, com destaque para Cutter (1996) que se dedicou ao estudo da vulnerabilidade por meio da análise fatorial de diferentes variáveis e indicadores, considerando as dimensões sociais, econômicas, políticas e culturais.

A análise fatorial tem como objetivo definir o relacionamento entre as variáveis de modo simples, para isso utiliza menor número de variáveis do que o número inicial, dessa forma reduz a dimensionalidade de um conjunto de variáveis por meio de suas intercorrelações (GUIMARÃES et al., 2014). Esta técnica foi utilizada devido sua adequação para construção de índices e capacidade de reduzir um grande conjunto de dados, assim facilitou-se a construção e consolidação dos indicadores.

Esta pesquisa considera a hipótese de que o desenvolvimento sustentável aliado ao sistema de drenagem tradicional de drenagem urbana deve acompanhar o processo de desenvolvimento da cidade, mantendo a funcionalidade. De acordo com Kemerich et al. (2013), o uso de indicadores constitui-se como instrumento relevante para gerenciar adequadamente as questões públicas, principalmente para obter diagnósticos e realizar monitoramentos ambientais.

O objeto de estudo foi o estado de Goiás, caracterizado pela ocorrência de alagamentos em diversas regiões da capital, tornando-se um problema eminente para a população. De acordo com Cardoso, Marcuzzo e Barros (2014), as regiões com maior volume de chuva no estado compreendem a região central do norte goiano e no município de Piracanjuba, no sudeste. Nos estudos realizados por Machado et al. (2017), o recorte temporal da capital do estado de Goiás mostraram o aumento das áreas impermeabilizadas, dos processos erosivos lineares e o conseqüente aumento das áreas de inundações e alagamentos. Esses problemas urbanos e ambientais são decorrentes principalmente do aumento populacional e falta de planejamento urbano.

Considerando esta situação, este artigo tem como objetivo geral operacionalizar o conceito de vulnerabilidade socioambiental, por meio da construção e validação de um indicador, a fim de correlacioná-lo com o sistema de drenagem urbana.

## **METODOLOGIA**

### **Dados**

Os conjuntos de dados disponibilizados para as análises desenvolvidas nesta pesquisa referem-se aos resultados do Censo Demográfico 2010. Tendo em vista a grande quantidade de informações e bases apresentadas, de forma a facilitar o desenvolvimento dos indicadores, as informações foram filtradas e sumarizadas em um menor número de variáveis mais relevantes para a criação dos indicadores. Além disso, estas foram subdivididas nas categorias sociais, ambientais e de infraestrutura. Com relação aos dados destaca-se ainda que dos 9.434 setores censitários, 178 (1,89%) apresentaram alguma informação ausente e estes foram retirados da análise.

O software utilizado nas análises foi o R (versão 3.6.0), este pacote de análise estatística incorpora testes, modelos e análises estatísticas padrões, além de fornecer uma linguagem abrangente para gerenciar e manipular dados. Inicialmente, os pacotes utilizados para preparação dos dados no software R, foram: *library(tidyverse)*, *library(data.table)* e *library(readxl)*. Após as manipulações, percebeu-se que os arquivos apresentaram a mesma ordenação com relação aos setores censitários, posteriormente foi realizada a agregação de todos os conjuntos de dados gerados em um único arquivo para o desenvolvimento dos indicadores.

Salienta-se que para facilitar o desenvolvimento dos indicadores, principalmente pela metodologia de análise fatorial, as variáveis foram subdivididas manualmente nas categorias sociais, ambientais e de infraestrutura via critério dos pesquisadores. Mesmo com esta categorização ainda foi necessário retirar algumas variáveis da análise para simplificar a elaboração dos indicadores. Os pacotes estatísticos utilizados para criação dos indicadores por meio da análise fatorial foram: *library(data.table)*, *library(psych)*, *library(Hmisc)*, *library(tidyverse)*, *library(psy)*, *library(nFactors)* e *library(readxl)*.

### **Análise de Dados**

Para compreensão do conjunto de variáveis fez-se a análise descritiva por meio de medidas de posição, tendência central, dispersão e intervalo percentílico bootstrap de 95% de confiança para média, sendo que o método bootstrap é muito utilizado para realizar inferências

quando não se conhece a distribuição de probabilidade da variável de interesse (EFRON; TIBSHIRANI, 1993).

Para o desenvolvimento dos indicadores optou-se por utilizar a técnica de Análise Fatorial Exploratória. Em seguida, a técnica foi planejada com base em três etapas: a) verificação da adequabilidade da base de dados; b) determinação da técnica de extração (componentes principais); c) tipo de rotação dos fatores (Varimax).

Para criação de um indicador via análise fatorial devem-se verificar três questões básicas: dimensionalidade, confiabilidade e validade (HAIR et al., 2009). Essas questões são definidas por:

- **Dimensionalidade:** Uma suposição inerente e exigência essencial para a criação de um indicador é que os itens sejam unidimensionais, significando que eles estão fortemente associados um com o outro e representam o mesmo conceito.

- **Confiabilidade:** É a avaliação do grau de consistência entre múltiplas medidas de um índice ou variável.

- **Validade:** É o grau em que uma escala ou conjunto de medidas representa com precisão o conceito de interesse. Uma das formas mais aceitas para validade é através da Avaliação Convergente, que avalia o grau em que duas medidas do mesmo conceito estão correlacionadas.

Para checar a dimensionalidade de cada índice, foi utilizado o critério da Análise Paralela (Parallel Analysis) elaborado por Horn (1965). Esse critério retorna o número de fatores que devem ser retidos em uma Análise Fatorial, ou seja, a quantidade de dimensões do construto, indicador. Na impossibilidade de utilizar a Análise Paralela, quando os fatores são formados somente por duas variáveis, foi utilizado o Critério de Kaiser (KAISER, 1958).

Na avaliação da validade convergente foi utilizado o critério da variância média extraída (AVE) proposto por Fornell (FORNELL; LARCKER, 1981), que representa o percentual médio de variância compartilhada entre o construto latente e seus itens. Este critério garante a validade convergente para valores de AVE acima de 50% (HENSELER; RINGLE; SINKOVICS, 2009) ou 40% no caso de pesquisas exploratórias (NUNNALLY; BERNSTEIN, 1994).

Para verificar a confiabilidade foi utilizada a Confiabilidade Composta (C.C) (CHIN, 1998), que de acordo com Tenenhaus et al. (2005), a (C.C.) deve apresentar valores acima de

0,70 para uma indicação de confiabilidade do construto, ou valores acima de 0,60 no caso de pesquisas exploratórias. A C.C. tem sido apresentada como um indicador de precisão mais robusto, quando comparado ao coeficiente *alpha* (CRONBACH, 1951), isto porque, no cômputo da C.C., as cargas fatoriais dos itens são passíveis de variação, enquanto no coeficiente *alpha*, as cargas dos itens são fixadas para serem iguais. Nesse sentido, a C.C. tende a apresentar indicadores mais robustos de precisão por não estar atrelada a esse pressuposto (VALENTINI; DAMÁSIO, 2016).

Para avaliar se a utilização da análise fatorial é adequada aos dados foi utilizada a medida de adequação da amostra de Kaiser-Meyer-Olkin – KMO, que verifica a proporção da variância dos dados que pode ser considerada comum a todas as variáveis. Os valores desta medida variam entre 0 e 1 e a utilização da análise fatorial é adequada aos dados quando o KMO for maior ou igual 0,50, sendo que quanto mais próximo de 1 mais apropriada é a amostra à aplicação da análise fatorial.

Para um índice ser validado via análise fatorial, espera-se que os construtos, indicadores, sejam unidimensionais, que as cargas fatoriais sejam maiores que 0,50, em módulo, que a confiabilidade composta seja de pelo menos 0,70, sendo também aceito em pesquisas exploratórias o valor de 0,60, que o KMO seja de pelo menos 0,5 e que a AVE seja maior que 0,4.

Para realizar a extração dos fatores, foi utilizada a técnica de Análise de Componentes Principais (ACP), que converte uma matriz de dados com N observações e p variáveis, em um novo conjunto de p variáveis ortogonais, de modo que a primeira delas tenha a máxima variância possível (NAGAR; BASU, 2002). Em síntese, o método da ACP busca explicar a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório, mediante combinações lineares das variáveis originais, sendo estas combinações não correlacionadas entre si e denominadas de “componentes principais” (MINGOTI, 2005).

Quando se considera somente a primeira componente, embora mais simples, geralmente se tem o problema de explicar somente uma pequena parte da variabilidade, já quando se considera todas, se consegue explicar 100% das variações. Dessa forma, considerando que ao utilizar somente a primeira componente iria se perder parte da variabilidade dos dados, os indicadores foram criados sobre a metodologia proposta por Nagar e Basu (2002), que calcula os indicadores sobre a média ponderada de todas as componentes principais obtidas na ACP, sendo os pesos as variâncias proporcionais de cada uma delas. Salienta-se ainda que foram

selecionadas as variáveis com pesos significativamente diferentes de 0 por meio do intervalo percentílico bootstrap e os indicadores foram padronizados para uma escala de 0 a 1.

Com a finalidade de simplificar a estrutura dos dados, empregou-se o método de rotação Varimax, que tem o objetivo de minimizar o número de variáveis que apresentam alta carga em cada fator. De acordo com Reis (2001), Varimax é um método ortogonal, cujo objetivo é maximizar a variação entre os pesos de cada componente principal.

Por fim, para verificar se o sistema de drenagem se relaciona com as características ambientais, sociais e de infraestrutura dos setores censitários, apresenta-se as correlações entre os indicadores desenvolvidos e a proporção de domicílios particulares permanentes com beiro/boca de lobo e a proporção de domicílios particulares permanentes com meio fio/guia. Estas informações estavam presentes no arquivo Entorno, porém, salienta-se que, como mencionado no arquivo de descrição dos conjuntos de dados, os setores onde não houve coleta das informações do entorno apresentaram valor zero em todas as colunas. E após a retirada destes setores, juntamente com os que apresentaram observações ausentes, obteve-se 7101 setores para a análise do relacionamento do sistema de drenagem e dos indicadores.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Criação de indicadores via Análise Fatorial**

#### **Indicador ambiental**

A análise fatorial teve como objetivo verificar a necessidade de exclusão de algum item que não estivesse contribuindo com a formação dos fatores, uma vez que itens com cargas fatoriais menores que 0,50, em módulo, devem ser eliminados dos construtos, pois ao não contribuir de forma relevante para formação dele, prejudicam o alcance das suposições básicas para validade e qualidade dos indicadores criados para representar o conceito de interesse.

A partir da avaliação de dimensionalidade, cargas fatoriais, validação convergente e confiabilidade chegou-se ao indicador ambiental definido abaixo, formado por 3 fatores de primeira ordem. Segundo a Tabela 1, todos os fatores que formam o indicador apresentaram carga fatorial superior a 0,50 e pesos positivos, ou seja, quanto maior o valor dos fatores maior será o indicador.

**Tabela 1 - Análise fatorial - indicador ambiental**

<b>Indicador Ambiental</b>			
<b>Fatores de 1ª ordem</b>	<b>C.F.<sup>1</sup></b>	<b>Com.<sup>2</sup></b>	<b>Peso</b>
fator 1	0,69	0,48	0,37
fator 2	0,87	0,76	0,47
fator 3	0,79	0,62	0,42

<sup>1</sup>Carga fatorial; <sup>2</sup> Comunalidade

Na Tabela 2 apresentada abaixo, tem-se a análise fatorial dos fatores que formam o indicador ambiental. Nota-se que todas as cargas fatoriais foram superiores a 0,5 e todos os pesos foram positivos, ou seja, quanto maior o valor das variáveis que compõem o fator, maior este será.

**Tabela 2 - Análise fatorial - fatores formadores do indicador ambiental**

<b>Fator de 1ª ordem</b>	<b>Variáveis</b>	<b>C.F.<sup>1</sup></b>	<b>Com.<sup>2</sup></b>	<b>Peso</b>
fator 1	V72	0,96	0,92	0,19
	V75	0,98	0,96	0,20
	V78	0,93	0,87	0,19
	V42	0,93	0,87	0,19
	V24	0,81	0,66	0,17
	V43	0,59	0,35	0,12
	V46	0,54	0,30	0,11
fator 2	V82	0,90	0,81	0,42
	V50	0,85	0,72	0,40
	V74	0,77	0,59	0,36
fator 3	V61	0,88	0,78	0,57
	V26	0,88	0,78	0,57

<sup>1</sup>Carga fatorial; <sup>2</sup> Comunalidade

Dado que todas as variáveis e fatores apresentaram pesos positivos e os significados das variáveis na listagem abaixo, pode-se considerar este indicador como um indicador de fragilidade ambiental. A descrição das variáveis é apresentada no Apêndice A.

Na Tabela 3 apresenta-se, a importância relativa de cada variável no indicador final de fragilidade ambiental. Pode-se destacar que V26, V61 e V82 foram as variáveis com maior importância relativa.

**Tabela 3 - Importância relativa - fragilidade ambiental**

Variáveis	Importância relativa
V72	4,92%
V75	5,02%
V78	4,78%
V42	4,79%
V24	4,18%
V43	3,02%
V46	2,79%
V82	13,25%
V50	12,49%
V74	11,30%
V61	16,73%
V26	16,73%

Por fim, a Tabela 4 apresenta as medidas de validade e qualidade dos fatores que forma o indicador e do próprio indicador final. Pode-se destacar que:

- Tanto o indicador final como os fatores que formam o indicador apresentaram validação convergente ( $AVE > 0,4$ ).
- Tanto o indicador final como os fatores que formam o indicador apresentaram Confiabilidade Composta (C.C.) acima de 0,60. Ou seja, apresentaram os níveis exigidos de confiabilidade.
- Os ajustes da Análise Fatorial foram adequados, uma vez que todos os KMO foram maiores ou iguais a 0,50.
- Todos os construtos foram unidimensionais (Dimensionalidade), salientando que foi utilizado o critério da Análise Paralela no indicador ambiental e nos fatores 1 e 2. Já no fator 3 foi verificada a unidimensionalidade via critério de Kaiser, visto que este fator foi formado somente por dois itens.

**Tabela 4 - Validação dos construtos – ambiental**

Construto	quant. de itens	AVE <sup>1</sup>	C.C. <sup>2</sup>	KMO <sup>3</sup>	Dim. <sup>4</sup>
Indicador ambiental	3	0,62	0,75	0,60	1
fator 1	7	0,70	0,91	0,76	1
fator 2	3	0,71	0,81	0,65	1
fator 3	2	0,78	0,80	0,50	1

<sup>1</sup>Variância extraída; <sup>2</sup>Confiabilidade Composta; <sup>3</sup>Adequação da amostra;

<sup>4</sup>Dimensionalidade

Nesta pesquisa, observou-se que os resultados mostraram que os setores censitários com alta vulnerabilidade ambiental possuem condições sociais significativamente piores e maior concentração de crianças e jovens, do que setores com baixa e média vulnerabilidade ambiental. Isso pode acontecer porque áreas de degradação e risco ambiental são acessíveis à população de baixa renda, devido à desvalorização no mercado imobiliário.

### Indicador de infraestrutura

A partir da avaliação de dimensionalidade, cargas fatoriais, validação convergente e confiabilidade chegou-se ao indicador infraestrutural definido na Tabela 5 abaixo, formado por 3 fatores de primeira ordem. Segundo a Tabela 5, todos os fatores que formam o indicador apresentaram carga fatorial superior a 0,50 e pesos positivos, ou seja, quanto maior o valor dos fatores maior será o indicador.

**Tabela 5 - Análise fatorial – indicador de infraestrutura**

Indicador infraestrutura			
Fatores de 1ª ordem	C.F. <sup>1</sup>	Com. <sup>2</sup>	Peso
fator 1	0,85	0,72	0,51
fator 2	0,64	0,41	0,39
fator 3	0,72	0,51	0,44

<sup>1</sup>Carga fatorial; <sup>2</sup> Comunalidade

Na Tabela 6, tem-se a análise fatorial dos fatores que formam o indicador infraestrutural. Nota-se que todas as cargas fatoriais foram superiores a 0,5 e todos os pesos foram positivos, ou seja, quanto maior o valor das variáveis que compõem o fator, maior este será.

**Tabela 6 -Análise fatorial – fatores formadores do indicador de infraestrutura**

Fator de 1ª ordem	Variáveis	C.F. <sup>1</sup>	Com. <sup>2</sup>	Peso
fator 1	V39	0,98	0,95	0,18
	V62	0,98	0,95	0,18
	V40	0,92	0,85	0,17
	V70	0,97	0,94	0,18
	V58	0,93	0,86	0,17
	V23	0,91	0,83	0,17
fator 2	V48	0,98	0,97	0,51
	V47	0,98	0,97	0,51
fator 3	V28	1,00	1,00	0,50
	V63	1,00	1,00	0,50

<sup>1</sup>Carga fatorial; <sup>2</sup> Comunalidade

Dado que todas as variáveis e fatores apresentaram pesos positivos e os significados das variáveis é apresentada no Apêndice A, podemos considerar este indicador como um indicador de qualidade infraestrutural.

Na Tabela 7 apresenta-se a importância relativa de cada variável no indicador final de qualidade infraestrutural. Pode-se destacar que V63, V28, V47 e V48 foram as variáveis com maior importância relativa, possuindo conjuntamente 61,64%.

**Tabela 7 - Importância relativa – qualidade infraestrutural**

<b>Variáveis</b>	<b>Importância relativa</b>
V39	6,59%
V62	6,59%
V40	6,23%
V70	6,55%
V58	6,25%
V23	6,14%
V48	14,59%
V47	14,59%
V28	16,23%
V63	16,23%

Por fim, a Tabela 8 apresenta as medidas de validade e qualidade dos fatores que forma o indicador e do próprio indicador final. Pode-se destacar que:

- Tanto o indicador final como os fatores que formam o indicador apresentaram validação convergente ( $AVE > 0,4$ ).
- Tanto o indicador final como os fatores que formam o indicador apresentaram Confiabilidade Composta (C.C.) acima de 0,60. Ou seja, apresentaram os níveis exigidos de confiabilidade.
- Os ajustes da Análise Fatorial foram adequados, uma vez que todos os KMO foram maiores ou iguais a 0,50.
- Todos os construtos foram unidimensionais (Dimensionalidade), salientando que foi utilizado o critério da Análise Paralela no indicador de qualidade infraestrutural e no fator 1. Já nos demais fatores foi verificada a unidimensionalidade via critério de Kaiser, visto que estes foram formados somente por dois itens.

**Tabela 8 - Validação dos construtos – infraestrutura**

Construto	quant. de itens	AVE <sup>1</sup>	C.C. <sup>2</sup>	KMO <sup>3</sup>	Dim. <sup>4</sup>
Indicador infraestrutura	3	0,55	0,70	0,55	1
fator 1	6	0,90	0,97	0,86	1
fator 2	2	0,97	0,97	0,50	1
fator 3	2	1,00	1,00	0,50	1

<sup>1</sup>Variância extraída; <sup>2</sup>Confiabilidade Composta; <sup>3</sup>Adequação da amostra;

<sup>4</sup>Dimensionalidade

### Indicador social

Seguindo a mesma metodologia de avaliação de dimensionalidade, cargas fatoriais, validação convergente e confiabilidade chegou-se ao indicador social definido abaixo, formado por 3 fatores de primeira ordem. Segundo a Tabela 9, todos os fatores que formam o indicador apresentaram carga fatorial, em modulo, superior a 0,50. Nota-se que o fator 3 apresentou peso negativo, ou seja, quanto maior for este menor tende a ser o indicador social.

**Tabela 9 - Análise fatorial – indicador social**

Indicador social			
Fatores de 1ª ordem	C.F. <sup>1</sup>	Com. <sup>2</sup>	Peso
fator 1	0,78	0,62	0,46
fator 2	0,68	0,47	0,40
fator 3	-0,78	0,62	-0,46

<sup>1</sup>Carga fatorial; <sup>2</sup> Comunalidade

Na Tabela 10 tem-se a análise fatorial dos fatores que forma o indicador social. Nota-se que todas as cargas fatoriais, em modulo, foram superiores a 0,5. Além disso, com exceção de V129 e V148, todas as demais variáveis apresentaram pesos positivos.

**Tabela 10 - Análise fatorial – fatores formadores do indicador social**

Fator de 1ª ordem	Variáveis	C.F. <sup>1</sup>	Com. <sup>2</sup>	Peso
fator 1	V151	0,89	0,79	0,15
	V130	0,90	0,81	0,16
	V134	0,87	0,76	0,15
	V133	0,81	0,66	0,14
	V149	0,79	0,62	0,14
	V19	0,65	0,42	0,11
	V129	-0,85	0,73	-0,15
	V148	-0,74	0,55	-0,13
	V132	0,65	0,43	0,11
fator 2	V35	0,92	0,84	0,54
	V27	0,92	0,84	0,54
fator 3	V128	0,92	0,839	0,55
	V147	0,92	0,839	0,55

<sup>1</sup>Carga fatorial; <sup>2</sup> Comunalidade

Dado os pesos das variáveis e fatores, bem como os significados das variáveis apresentados no Apêndice A, podemos considerar este indicador como um indicador de qualidade social.

Na Tabela 11 apresenta-se a importância relativa de cada variável no indicador final de qualidade social. Pode-se destacar que V147, V128, V27 e V35 foram as variáveis com maior importância relativa, possuindo conjuntamente 65,15%.

**Tabela 11 - Importância relativa – qualidade social**

<b>Variáveis</b>	<b>Importância relativa</b>
V151	4,32%
V130	4,38%
V134	4,24%
V133	3,95%
V149	3,84%
V19	3,17%
V129	4,16%
V148	3,61%
V132	3,18%
V35	15,15%
V27	15,15%
V128	17,42%
V147	17,42%

Por fim, a Tabela 12 apresenta as medidas de validade e qualidade dos fatores que forma o indicador e do próprio indicador final. Pode-se destacar que:

- Tanto o indicador final como os fatores que formam o indicador apresentaram validação convergente ( $AVE > 0,4$ ).
- Tanto o indicador final como os fatores que formam o indicador apresentaram Confiabilidade Composta (C.C.) acima de 0,60. Ou seja, apresentaram os níveis exigidos de confiabilidade.
- Os ajustes da Análise Fatorial foram adequados, uma vez que todos os KMO foram maiores ou iguais a 0,50.
- Todos os construtos foram unidimensionais (Dimensionalidade), salientando que foi utilizado o critério da Análise Paralela no indicador de qualidade social e no fator 1. Já nos demais fatores foi verificada a unidimensionalidade via critério de Kaiser, visto que estes foram formados somente por dois itens.
- Destaca-se que as medidas de validação e qualidade no indicador social e no fator 1 foram calculadas invertendo-se as cargas que apresentaram valores negativos.

**Tabela 12 - Validação dos construtos – social**

<b>Construto</b>	<b>quant. de itens</b>	<b>AVE<sup>1</sup></b>	<b>C.C.<sup>2</sup></b>	<b>KMO<sup>3</sup></b>	<b>Dim.<sup>4</sup></b>
Indicador social	3	0,57	0,71	0,63	1
fator 1	9	0,64	0,91	0,76	1
fator 2	2	0,84	0,85	0,50	1
fator 3	2	0,84	0,85	0,50	1

<sup>1</sup>Variância extraída; <sup>2</sup>Confiabilidade Composta; <sup>3</sup>Adequação da amostra;

<sup>4</sup>Dimensionalidade

### **Indicador final**

Dados os 3 indicadores desenvolvidos via análise fatorial, fragilidade ambiental, qualidade infraestrutural e qualidade social, passa-se ao desenvolvimento de um indicador único que agrega estes três.

Observa-se que os valores utilizados para elaboração dos indicadores referem-se a 2000, sendo que possivelmente ocorreram mudanças na distribuição porcentual da população entre os grupos de vulnerabilidade ambiental.

Na Tabela 13 tem-se as cargas fatoriais, comunalidades, pesos e importância relativa dos indicadores que formam o indicador final. Nota-se que todos apresentaram cargas fatoriais, em modulo, superiores a 0,5. Além disso, o indicador de fragilidade ambiental apresenta peso negativo, ou seja, quanto maior este, menor tende a ser o indicador final. Os indicadores de qualidade infraestrutural e social apresentaram pesos positivos.

**Tabela 13 - Análise fatorial – indicador final**

<b>Indicador</b>	<b>C.F.<sup>1</sup></b>	<b>Com.<sup>2</sup></b>	<b>Peso</b>	<b>Importância relativa</b>
environmental fragility	-0,90	0,81	-0,38	33,81%
infrastructural quality	0,94	0,88	0,40	35,21%
qualidade social	0,82	0,68	0,35	30,98%

<sup>1</sup>Carga fatorial; <sup>2</sup> Comunalidade

Por fim, a Tabela 14 apresenta as medidas de validade e qualidade do indicador final. Pode-se destacar que:

- O indicador de qualidade geral apresentou validação convergente (AVE>0,4) e Confiabilidade Composta (C.C.) acima de 0,6, ou seja, apresenta os níveis exigidos de confiabilidade.

- O ajuste da Análise Fatorial foi adequado, uma vez que o KMO foi maior que 0,50.
- O indicador final foi unidimensional via critério da Análise Paralela.
- Destaca-se que as medidas de validação e qualidade foram calculadas invertendo-se a carga de fragilidade ambiental, visto que, esta foi negativa.

**Tabela 14 - Validação do indicador de qualidade geral**

quant. de itens	AVE <sup>1</sup>	C.C. <sup>2</sup>	KMO <sup>3</sup>	Dim. <sup>4</sup>
3	0,79	0,86	0,67	1

<sup>1</sup>Variância extraída; <sup>2</sup>Confiabilidade Composta; <sup>3</sup>Adequação da amostra; <sup>4</sup>Dimensionalidade

Segundo Gall (2007), vários estudos na área de vulnerabilidade socioambiental foram feitos no Brasil, mas não existe um consenso de quais variáveis devem ser utilizadas.

Licco (2013) destacou a necessidade de considerar fatores humanos em estudos de vulnerabilidade social e de desastres naturais, visto que influenciam na severidade do desastre. Dentre os fatores abordados pelo autor, são considerados: riqueza, educação, governança, tecnologia, idade e gênero. De acordo com Licco (2013), a riqueza é importante pois pobres são menos capazes de pagar por moradias em locais com boa infraestrutura. A educação deve ser considerada porque indivíduos com maior nível educacional tendem a evitar ou reduzir impactos em relação à indivíduos menos educados. A governança pode contribuir com a promoção de políticas que reduzam vulnerabilidades. A tecnologia pode contribuir com a melhoria da capacidade de previsão de eventos. Por fim, Idade e gênero devem ser considerados porque crianças, idosos e mulheres tendem a ser mais vulneráveis por possuírem menos força física.

### **Relacionamento do sistema de drenagem e dos indicadores**

Apresenta-se nesta seção as correlações entre os indicadores desenvolvidos e a proporção de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca de lobo e a proporção de domicílios particulares permanentes com meio fio/guia. Destaca-se que após a retirada dos setores cuja informação do entorno não foi coletada, juntamente com os que apresentaram observações ausentes, obteve-se 7.101 setores para a análise do relacionamento do sistema de drenagem e dos indicadores.

Inicia-se com a tabela 15, que apresenta a análise descritiva das variáveis que caracterizam o sistema de drenagem. Nota-se, por exemplo, que a média com relação a proporção de domicílios particulares permanentes com meio fio/guia foi maior que a com relação a proporção de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca de lobo.

**Tabela 15 - Análise descritiva do sistema de drenagem**

Variável	N	Média	D.P.	Mín.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Máx.
% de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca de lobo	7101	0,23	0,31	0,00	0,00	0,06	0,41	1,00
% de domicílios particulares permanentes com meio fio/guia	7101	0,82	0,31	0,00	0,80	0,99	1,00	1,00

Na Tabela 16 tem-se as correlações de Pearson entre as variáveis do sistema de drenagem e os indicadores obtidos via análise fatorial. Nota-se que os indicadores de qualidade apresentaram correlações positivas com as variáveis de drenagem. Já o indicador de fragilidade apresentou correlações negativas. Este fato é coerente com o significado dos indicadores e das variáveis do sistema de drenagem.

**Tabela 16 - Correlações entre os indicadores AF e a presença de bueiro/boca de lobo e meio fio/guia**

-	Bueiro/boca de lobo	Meio fio/guia	Frag. ambiental - AF	Qual. infraest. - AF	Qual. social - AF
Bueiro/boca de lobo	1,00	0,37	-0,18	0,46	0,44
Meio fio/guia	0,37	1,00	-0,42	0,50	0,44

## CONCLUSÃO

Os resultados apresentados nesta pesquisa mostraram que o método de análise fatorial exploratória é adequado para a criação de um indicador socioambiental. Possibilitou a compreensão de que as condições ambientais podem ser analisadas como fragilidades, já que apresentaram peso negativo. Por outro lado, os indicadores social e de infraestrutura, apresentaram pesos de 0,35 e 0,40 respectivamente. Isso mostra que quanto maior, melhor, por isso foram identificados como indicadores de qualidade geral.

Para verificar se o sistema de drenagem se relaciona com as características ambientais, sociais e de infraestrutura dos setores censitários, foram realizadas correlações entre os indicadores desenvolvidos e a proporção de domicílios particulares permanentes com

bueiro/boca de lobo e a proporção de domicílios particulares permanentes com meio fio/guia. Conclui-se que, setores com melhores sistemas de drenagem (maiores proporções de domicílios com bueiro/boca de lobo e meio fio/guia) tendem a apresentar maiores indicadores de qualidade social e infraestrutural e menores valores de fragilidade ambiental. Destaca-se ainda que as variáveis do sistema de drenagem apresentaram correlação positiva de 0,37 e todas as correlações foram significativas.

De modo geral, a construção e validação desse indicador contribuiu para a compreensão da relação existente entre os aspectos socioambientais e o sistema de drenagem urbana. Demonstrou que aspectos básicos relacionados ao manejo de águas pluviais precisam ser melhorados, já que em média, apenas 23% dos domicílios particulares permanentes possuem boca de lobo. Cabe ressaltar que não ainda não estão disponíveis dados de eficiência das mesmas.

Ocorreram limitações para operacionalização empírica da categoria vulnerabilidade socioambiental, estas devem-se ao fato de que a informação utilizada para medi-la está agregada por setor censitário. Esta agregação impede que a análise da vulnerabilidade seja feita na escala das famílias e domicílios. É necessário enfatizar que não foi medida a vulnerabilidade do território, mas sim a da população residente naquele território.

O método de construção de indicadores proposto pode ser aplicado por meio de censos atuais e antigos, além de fazer usos de diferentes escalas de análises. Para aplicação em outras regiões, sugere-se a inclusão ou substituição de indicadores de acordo com a realidade da região a ser analisada.

Para trabalhos futuros, recomenda-se apresentar por meio de mapas os indicadores obtidos de forma a visualizar como estes se distribuem entre os setores censitários, auxiliando consequentemente na identificação de zonas críticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais, **Revista Brasileira de estudos de população**, vol.23 no.1 São Paulo Jan./June 2006.
- ARRUDA. **A Natureza dos Rios: História, Memória e Territórios**. Curitiba: Editora UFPR, 2008.
- BENZERRA, A; CHERRARED, M; CHOCAT, B; CHERQUI, F; ZEKIYOUK, T. Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria. **Journal of Environmental Management**, 101(30), 46–53, 2012.
- BERGGREN, K. Indicators for urban drainage system-assessment of climate change impacts. **In: International Conference on Urban Drainage**, Edinburgh, Scotland, UK, 2008
- BOSCO, R. B; CARDOSO, A. O; YOUNG, A. F. Aplicação de análise multivariada para a construção de indicadores ambientais na relação entre precipitação e deslizamentos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais, RBCIAMB** | n.52 | jun 2019 | 44-61, DOI: 10.5327/Z2176-947820190471.
- BUTLER, D; DAVIES, J. W. **Urban Drainage**. 3<sup>rd</sup> Edition, 2011.
- CARDOSO, M. R. D; MARCUZZO, F. F. N; BARROS, J. R. Classificação Climática de Koppen- Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal, **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.8, n.16, jan./mar. de 2014. pp.40-55.
- CASTRO, L. M. A; BAPTISTA, M. B; NETTO, O. M. C. Análise Multicritério para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana Proposição de Indicadores e de Sistemática de Estudo, **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 9 n.4 Out/Dez, 05-19, 2004.
- CHIN, W. W. The partial least squares approach to structural equation modeling. In *Methodology for business and management. Modern methods for business research* (1st ed., pp. 295–336). Mahwah, NJ, **US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers**, 1998.
- Cronbach, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, 16(3), 297–334, 1951.
- CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in Human Geography**, v. 20, n. 4, p. 529-539, 1996.
- EFRON, B., & TIBSHIRANI, R. J. Introduction to the Bootstrap. **In Statistical Science**, 1993.
- EL HAWARY, A.; SHABAN, M. Improving drainage water quality: Constructed wetlands-performance assessment using multivariate and cost analysis. **Water Sci.** 2018, 32, 301–317.

- FIGUEIREDO FILHO, D. B; PARAHOS, R; ROCHA, E. C; SILVA JÚNIOR, J. A; MAIA, R. G. Análise de componentes principais para construção de indicadores sociais, **Rev. Bras. Biom.**, São Paulo, v.31, n.1, p.61-78, 2013.
- FORNELL, C., & LARCKER, D. F. Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. **Journal of Marketing Research**, 18(1), 39–50, 1981.
- Gall M. Indices of Social Vulnerability to Natural Hazards: A Comparative Evaluation. Los Angeles: University of South California; 2007.
- GANDARA, G.S. Rios: território das águas às margens das cidades: o caso dos rios de Uruaçu-GO. **Revista Franco- Brasileira de Geografia**, 2017.
- GUIMARÃES, R. M; MAZOTO, M. L; MARTINS, R. N; CARMO, C. N; ASMUS, C. I. F. Construção e validação de um índice de vulnerabilidade socioambiental para a vigilância e gestão de desastres naturais no Estado do Rio de Janeiro, Brasil, **Ciência & Saúde Coletiva**; Rio de Janeiro, Vol. 19, Ed. 10 (Oct 2014): 4157-4165. DOI:10.1590/1413-812320141910.08282014.
- HAIR, J. F., BLACK, W. C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E., & TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**, 2009.
- HENSELER, J., RINGLE, C.M; SINKOVICS, R.R (2009). The use of partial least squares path modeling in international marketing. **Advances in international marketing**, v. 20, p. 277-319, (2009).
- HORN, J. L. A rationale for the number of factors in factor analysis. **Psychometrika**, 1965.
- KAISER, H. F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, 23(3), 187–200.
- KOLSKY, P; BUTLER, D. Performance indicators for urban storm drainage in developing countries. **Urban Water**. Vol. 4. pp.137-144, 2002.
- LEE, M; KIM, M; KIM, Y; HAN, M. Consideratin of rainwater quality parameters for drinking purposes: A case study in rural Vietnam. **Journal of Environmental Management**, 2017.
- LICCO EA. Vulnerabilidade social e desastres naturais: uma análise preliminar sobre Petrópolis, Rio de Janeiro. **Rev. de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade** 2013; 8(1):25-41
- KEMERICH, P. D. da C., MARTINS, S. R., KOBAYAMA, M., BURIOL, G. A., BORBA, W. F; RITTER, L. G. Avaliação da Sustentabilidade Ambiental em bacias hidrográficas mediante a aplicação do modelo P-E-R. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 10, n. 10, 2013.
- MACHADO, A.S; DE PAULA, H. J. M; RODRIGUES, H. S. M. C; FARIA, K. M. S. Avaliação dos efeitos da impermeabilização do solo urbano na alta bacia do Córrego Cascavel – Goiânia/ GO, **XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Instituto de Geociências**, 2017.

- MALTA, F. S; COSTA, E. M; MAGRINI, A. Índice de vulnerabilidade socioambiental: uma proposta metodológica utilizando o caso do Rio de Janeiro, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 22, 3933-3944, 2017.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.
- MITCHELL, Gordon. “Problems and fundamentals of sustainable development indicators”. **Sustainable Development**, v. 4, n. 1, p. 111, 1996.
- NAGAR, A. L., BASU, S. R. Weighting socio-economic indicators of human development: a latent variable approach. **Handbook of Applied Econometrics and Statistical Inference**, 2002.
- NEVES, M. G. F. P.; TUCCI, C. E. M. Composição de resíduos de varrição e resíduos carreados pela rede de drenagem, em uma bacia hidrográfica urbana. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES, v.16, p. 331-336, 2011.
- NUNNALLY, J., & BERNSTEIN, I. (1994). **Psychometric Theory**. New York: McGraw-Hill.
- OJIMA, R; MANDAROLA JÚNIOR, E. Indicadores e políticas públicas de adaptação às mudanças climáticas: vulnerabilidade, população e urbanização, **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, número 18, dezembro de 2010.
- REIS, E. **Estatística multivariada aplicada**. 2.ed. Lisboa: Silabo, 2001.
- SHIELDS, D., SOLAR, S. V., MARTIN, W. “The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability”. **Ecological Indicator**, v. 2, n. 12, p. 149160, 2002.
- SOUZA, V.C.B. Gestão da drenagem urbana no Brasil: Desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologia**, v.1, n.1 – Souza, p. 057-072, 2013.
- TENENHAUS, M., VINZI, V. E., CHATELIN, Y. M., & LAURO, C. PLS path modeling. **Computational Statistics and Data Analysis**, 48(1), 159–205, 2005.
- Valentini, F., & Damásio, B. F. Variância Média Extraída e Confiabilidade Composta: Indicadores de Precisão. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, 32(2), 1–7, 2016.

**APÊNDICE A – Apresentação das variáveis ambientais, variáveis de infraestrutura e variáveis sociais**

**Apresentação das variáveis ambientais**

<b>Código</b>	<b>Descrição da variável</b>
V24	% de domic. partic. perman. com abastec. de água de poço ou nascente na propried. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V25	% de domic. partic. perman. com abastec. de água da chuva armazenada em cisterna em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V26	% de domic. partic. perman. com outra forma de abastec. de água em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V29	% de domic. partic. perman. com banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via fossa séptica em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V30	% de domic. partic. perman. com banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via fossa rudimentar em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V31	% de domic. partic. perman. com banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via vala em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V32	% de domic. partic. perman. com banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via rio, lago ou mar em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V33	% de domic. partic. perman. com banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via outro escoadouro em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V42	% de domic. partic. perman. com lixo queimado na propried. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V43	% de domic. partic. perman. com lixo enterrado na propried. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V44	% de domic. partic. perman. com lixo jogado em terreno baldio ou logradouro em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V45	% de domic. partic. perman. com lixo jogado em rio, lago ou mar em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V46	% de domic. partic. perman. com outro dest. do lixo em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V50	% de domic. partic. perman. sem en. elétr. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V59	% de domic. partic. perman. com lixo coletado e abastec. de água de poço ou nascente na propried. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V60	% de domic. partic. perman. com lixo coletado e abastec. de água de chuva armazenada em cisterna em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V61	% de domic. partic. perman. com lixo coletado e outra forma de abastec. de água em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V64	% de domic. partic. perman. com lixo coletado, banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via fossa séptica em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V65	% de domic. partic. perman. com lixo coletado, banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via fossa rudimentar em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V66	% de domic. partic. perman. com lixo coletado, banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via vala em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V67	% de domic. partic. perman. com lixo coletado, banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via rio, lago ou mar em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V68	% de domic. partic. perman. com lixo coletado, banh. ou sanit. e esgot. sanit. via outro escoadouro em relação a quanti. de domic. partic. perman.

V69	% de domic. partic. perman. com lixo coletado e sem banh. de uso exclus. dos morad. e nem sanit. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V71	% de domic. partic. perman. com outra forma de dest. do lixo e abastec. de água da rede geral em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V72	% de domic. partic. perman. com outra forma de dest. do lixo e abastec. de água de poço ou nascente na propried. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V73	% de domic. partic. perman. com outra forma de dest. do lixo e abastec. de água de chuva armazenada em cisterna em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V74	% de domic. partic. perman. com outra forma de dest. do lixo e outra forma de abastec. de água em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V75	% de domic. partic. perman. com outra forma de dest. do lixo e banh. ou sanit. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V76	% de domic. partic. perman. com outra forma de dest. do lixo, banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via rede geral de esgoto ou pluvial em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V77	% de domic. partic. perman. com outra forma de dest. do lixo, banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via fossa séptica em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V78	% de domic. partic. perman. com outra forma de dest. do lixo, banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via fossa rudimentar em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V79	% de domic. partic. perman. com outra forma de dest. do lixo, banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via vala em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V80	% de domic. partic. perman. com outra forma de dest. do lixo, banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via rio, lago ou mar em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V81	% de domic. partic. perman. com outra forma de dest. do lixo, banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgot. sanit. via outro escoadouro em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V82	% de domic. partic. perman. com outra forma de dest. do lixo e sem banh. de uso exclus. dos morad. e nem sanit. em relação a quanti. de domic. partic. perman.

#### Apresentação das variáveis de infraestrutura

<b>Código</b>	<b>Descrição da variável</b>
V23	% de domic. partic. perman. com abastec. de água da rede geral em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V28	% de domic. partic. perman. com banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgotamento sanit. via rede geral de esgoto ou pluvial em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V39	% de domic. partic. perman. com lixo coletado em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V40	% de domic. partic. perman. com lixo coletado por serviço de limpeza em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V41	% de domic. partic. perman. com lixo coletado em caçamba de serviço de limpeza em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V47	% de domic. partic. perman. com en. elétr. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V48	% de domic. partic. perman. com en. elétr. de cia. distrib. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V49	% de domic. partic. perman. com en. elétr. de outras fontes em relação a quanti. de domic. partic. perman.

V51	% de domic. partic. perman. com en. elétr. de cia. distrib. e com medidor de uso exclus. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V52	% de domic. partic. perman. com en. elétr. de cia. distrib. e com medidor comum a mais de um domicílio em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V53	% de domic. partic. perman. com en. elétr. de cia. distrib. e sem medidor em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V58	% de domic. partic. perman. com lixo coletado e abastec. de água da rede geral em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V62	% de domic. partic. perman. com lixo coletado e banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V63	% de domic. partic. perman. com lixo coletado, banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. e esgotamento sanit. via rede geral de esgoto ou pluvial em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V70	% de domic. partic. perman. com lixo coletado e banh. em relação a quanti. de domic. partic. perman.

### Apresentação das variáveis sociais

Código	Descrição da variável
V3	Média do número de moradores em domic. partic. perman.
V9	Valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com e sem rendimento)
V10	Variância do rendimento nominal mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com e sem rendimento)
V11	Valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com rendimento)
V12	Variância do rendimento nominal mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com rendimento)
V17	% de domic. partic. perman. próprios e quitados em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V18	% de domic. partic. perman. próprios em aquisição em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V19	% de domic. partic. perman. alugados em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V20	% de domic. partic. perman. cedidos por empregador em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V21	% de domic. partic. perman. cedidos de outra forma em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V22	% de domic. partic. perman. em outra condição de ocupação (não são próprios, alugados e nem cedidos) em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V27	% de domic. partic. perman. com banh. de uso exclus. dos morad. ou sanit. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V34	% de domic. partic. perman. sem banh. de uso exclus. dos morad. e nem sanit. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V35	% de domic. partic. perman. com banh. de uso exclus. dos morad. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V38	% de domic. partic. perman. sem banh. de uso exclus. dos morad. em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V84	% de domic. partic. perman. com 5 morad. ou mais em relação a quanti. de domic. partic. perman.
V128	% de domic. partic. sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita em relação a quant. de domic. partic.
V129	% de domic. partic. com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1 salário mínimo em relação a quant. de domic. partic.
V130	% de domic. partic. com rendimento nominal mensal domiciliar per capita entre 1 e 5 salários mínimos em relação a quant. de domic. partic.

V131	% de domic. partic. com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 5 salários mínimos em relação a quant. de domic. partic.
V132	% de pessoas alfabetizadas com no máximo 34 anos de idade
V133	% de pessoas alfabetizadas com idade entre 35 e 49 anos de idade
V134	% de pessoas alfabetizadas com no mínimo 50 anos
V140	% de pessoas de até 10 anos de idade que tinham registro de nascimento
V141	% de pessoas de até 10 anos de idade que não tinham registro de nascimento
V142	% de pessoas de até 10 anos de idade que não sabiam se tinham registro de nascimento (inclusive sem declaração)
V143	% de pessoas de até 18 anos
V146	% de pessoas de no mínimo 50 anos
V147	% de pessoas de 10 anos ou mais de idade sem rendimento nominal mensal
V148	% de pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal de até 1 salário mínimo
V149	% de pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal entre 1 e 5 salários mínimos
V150	% de pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal de no mínimo 5 salários mínimos
V151	% de pessoas responsáveis que são alfabetizadas

## **CAPÍTULO III**

### **INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS APLICADOS AOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA NO ESTADO DE GOIÁS**

**Socio-environmental indicators applied to urban drainage systems in the State of Goiás**

## **INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS APLICADOS AOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA NO ESTADO DE GOIÁS**

**Socio-environmental indicators applied to urban drainage systems in the State of Goiás**

### **RESUMO**

Os indicadores socioambientais foram desenvolvidos, a fim de auxiliar os tomadores de decisão a implantar medidas corretivas. Essa pesquisa teve como objetivo criar e validar indicadores de vulnerabilidade socioambiental para o estado de Goiás, por meio do método de Análise de Componentes Principais (ACP) e técnicas de geoprocessamento, utilizando dados de setores censitários. Assim, propôs-se gerar essas informações e correlacioná-las com o sistema de drenagem urbana. Apresentou-se por meio de mapas os indicadores obtidos, de forma a visualizar como estes se distribuem entre os setores censitários. Dos 3 indicadores, qualidade ambiental é o que mais impacta no indicador final, apresentando importância relativa de 41,184%. Espera-se que a criação desses indicadores, possam contribuir com a elaboração de políticas públicas relacionadas com as vulnerabilidades constatadas.

**Palavras-chave:** Vulnerabilidade socioambiental. Setores censitários. Geoprocessamento. Método ACP.

### **ABSTRACT**

Socio-environmental indicators were developed in order to assist decision makers in implementing corrective measures. This research aimed to create and validate socio-environmental vulnerability indicators for the state of Goiás, using the Principal Component Analysis (ACP) method and geoprocessing techniques, using data from census sectors. Thus, it was proposed to generate this information and correlate it with the urban drainage system. The obtained indicators were presented by means of maps, in order to visualize how they are distributed among the census sectors. Of the 3 indicators, environmental quality is the one that most impacts the final indicator, with a relative importance of 41.184%. It is hoped that the creation of these indicators can contribute to the elaboration of public policies related to the identified vulnerabilities.

**Keywords:** Socio-environmental vulnerability. Census sectors. Geoprocessing. PCA method.

## INTRODUÇÃO

Inicialmente o foco do sistema de drenagem tradicional era controlar as águas para reduzir os impactos das cheias. Foi considerado um método insuficiente para resolver os problemas relacionados à alagamentos e inundações, devido a visão predominante ser focada no afastamento rápido das águas pluviais, ocasionando a transferência do transtorno a jusante. Atualmente, observa-se uma evolução de paradigmas associados ao modo de gestão e manejo das águas pluviais urbanas em que se adicionou a indução à infiltração, como forma de recompor as condições naturais do ciclo hidrológico (CHRISTOFIDIS; ASSUMPÇÃO; KLIGERMAN, 2020; SANTIAGO; FLORES; HONG, 2020).

No entanto, os principais problemas enfrentados por grande parte dos municípios brasileiros na tentativa de organizar o gerenciamento dos sistemas de drenagem são: cadastro técnico deficiente constatado pela ausência de dados sobre eficiência do sistema de microdrenagem, carência de capacitação técnica dos servidores, deficiência no monitoramento do sistema e recursos insuficientes (MORAES; SILVA, 2019).

Nesse aspecto, a avaliação ambiental da qualidade do sistema de drenagem urbana por meio da análise de aspectos gerenciais e ambientais, consolidou-se como uma etapa importante no processo de planejamento, pela possibilidade de favorecer a formulação e seleção de alternativas. Os dados utilizados devem lidar com o nível real de integridade e confiabilidade do sistema analisado, a fim de que possam ser estabelecidas soluções para minimizar os problemas mencionados referentes à etapa de organização do gerenciamento (MIGUEZ; REZENDE; VERÓL, 2014).

A crescente complexidade dos problemas de gerenciamento de sistemas de drenagem tem sido, sem dúvida, uma motivação para o desenvolvimento de métodos que permitam que os aspectos-chave sejam explicitamente considerados na análise de decisão (MAURYA et al., 2020). Nesse contexto, indicadores são instrumentos elaborados com a intenção de melhorar a vida social. Estes permitem a formulação de políticas públicas concretas e possibilitam a promoção de direitos sociais, no que diz respeito a questões éticas, educacionais, saúde, geração de trabalho e renda (ALCANTÁRA; SAMPAIO, 2020).

Frequentemente, indicadores que representam determinados aspectos-chave podem ser reunidos em um índice composto, refletindo as principais características do sistema estudado (BERTILSSON et al., 2019). No âmbito dos serviços de drenagem, os indicadores socioambientais podem ser utilizados pelas organizações para avaliar o histórico das evoluções

de desempenho do sistema no controle de escoamento superficial, seja em termos regionais ou nacionais. A análise de evolução dos indicadores ao longo do tempo permite evidenciar melhorias ou deterioração do sistema analisado, possibilitando que sejam tomadas medidas corretivas (MERKEL, 2002).

Castro; Baptista e Cordeiro Netto (2004) propuseram indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana e aplicaram e verificaram os indicadores em três estudos de caso por meio de método de análise multicritério. Dessa forma constataram que ao incluírem na análise aspectos ambientais, sanitários e sociais, obtinham melhorias na performance dos sistemas compostos de técnicas alternativas de drenagem. Estas técnicas alternativas buscam reproduzir ao máximo as condições do ciclo hidrológico, por meio da retenção e infiltração de água no solo.

Moretto e Schons (2007) discutiram sobre a relação existente entre os principais indicadores sociais tais como educação e renda, e indicadores ambientais no âmbito do desenvolvimento sustentável.

Silva (2010) utilizou os dados estatísticos do Censo Brasileiro 2000 para examinar os níveis de vulnerabilidade socioambiental em Jacarepaguá, no Rio de Janeiro. O índice de vulnerabilidade socioeconômica foi baseado em indicadores socioeconômicos como renda familiar média e nível de escolaridade. Já o índice de vulnerabilidade ambiental foi baseado em indicadores ambientais relacionados à infraestrutura urbana, como serviços de esgoto, abastecimento de água e coleta de lixo.

Birgani e Yazdandoost (2018) apresentaram uma estrutura integrada para mostrar como os planos de drenagem urbana são resilientes e sustentáveis, estes planos possibilitam a redução de desastres porque a infraestrutura obedece a padrões de segurança, em conjunto com urbanização sustentável.

Observa-se, portanto, que os indicadores socioambientais podem ser utilizados como componentes fundamentais de avaliação de desempenho do controle de escoamento superficial de sistemas de drenagem, cujo objetivo é fornecer informações sobre o comportamento dos sistemas para apoiar o gerenciamento (MASAYNA et al., 2007).

Alves (2006); Fekete (2009); Alves (2013) e Guimarães et al. (2014) utilizaram variáveis demográficas, sociais e ambientais para desenvolver e validar um indicador socioambiental para predizer a vulnerabilidade das áreas à ocorrência de desastres naturais.

Presume-se que, embora tenham causas naturais, as consequências das inundações envolvem também questões sociais.

A técnica estatística de Análise de Componentes Principais – ACP, pode ser utilizada para reduzir o número de variáveis e para fornecer uma visão estatisticamente privilegiada do conjunto de dados. Consiste na identificação da existência de indicadores inexpressivos e substitui o conjunto de dados originais pelas componentes principais. Desse modo, a ACP só é vantajosa quando existem variáveis altamente correlacionadas dentro do conjunto, de modo que a dimensionalidade possa ser reduzida (SILVA; CÂNDIDO; MARTINS, 2009).

Nesse sentido, as informações geradas pelos indicadores podem ser adicionadas e trabalhadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas - SIG, com a finalidade de disponibilizar informação com referência espacial. Com o uso de tecnologias inerentes ao SIG, é possível realizar a análise espacial das informações apresentadas pelos indicadores.

Um exemplo de geoprocessamento em estudos de indicadores socioambientais foi realizado por Freitas e Cunha (2013) que utilizaram o método estatístico ACP aplicado na região centro de Portugal e no estado de São Paulo. Com os resultados obtidos, os autores analisaram a capacidade de resposta das populações e territórios menos providos de infraestruturas urbanas.

Dentre as diversas aplicações do SIG, destaca-se as aplicações socioambientais. Diante disso, este trabalho teve como objetivo criar e validar indicadores de vulnerabilidade socioambiental para o estado de Goiás, por meio do método ACP e técnicas de geoprocessamento, utilizando dados de setores censitários. Propôs-se gerar essas informações e correlacioná-las com o sistema de drenagem urbana, a fim de contribuir para o processo de tomada de decisão. Os indicadores obtidos podem ser utilizados por entidades gestoras de serviços socioambientais, como apoio às atividades de estruturação e planejamento estratégico, favorecendo uma abordagem proativa de gestão.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O estado de Goiás é caracterizado pelo clima tropical, que se resume a verões chuvosos e invernos secos. Os eventos climáticos se tornam mais preocupantes quando ocorrem em comunidades sensíveis a variação de eventos climáticos. Goiânia é a capital do estado de Goiás, tem como base 1.536.097 habitantes estimados em 2020. Além disso, é a sexta maior cidade do Brasil em tamanho, com 256,8 quilômetros quadrados de área urbana e o décimo município mais populoso do Brasil (IBGE, 2020). De acordo com Nascimento; Lima e Cruz (2019) a capital é caracterizada por chuvas rápidas e intensas entre os meses de outubro a março que favorecem o aumento de água nos córregos e rios que cortam a malha urbana. Desse modo, a impermeabilização associada à falta de planejamento da infraestrutura facilitam a ocorrência de alagamentos em diversos pontos.

### Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos para identificação da vulnerabilidade socioambiental do estado de Goiás, foram construídos com base nos resultados do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2010) por setor censitário, capazes de operacionalizar o conceito em questão. Para apresentar o conjunto de indicadores foi utilizado o método estatístico ACP. Destaca-se ainda que dos 9.434 setores censitários, 178 (1,89%) apresentaram alguma informação ausente e estes foram retirados da análise.

A fim de compreender o conjunto de variáveis foi realizada a análise descritiva por meio de medidas de posição, tendência central, dispersão e intervalo percentílico Bootstrap de 95% de confiança para média. O procedimento Bootstrap é uma técnica baseada na obtenção de um “novo” conjunto de dados, por reamostragem do conjunto de dados originais. É um método que permite quantificar a incerteza por meio do cálculo dos erros padrões e intervalos de confiança, bem como realizar testes de significância (EFRON; TIBISHIRANI, 1993).

O *software* utilizado para o desenvolvimento das análises foi o R (versão 3.6.0), caracteriza-se como uma linguagem de programação e ambiente de computação estatístico, possui domínio público, sendo uma importante ferramenta para análise e manipulação de dados, além de apresentar facilidade na elaboração de gráficos.

Os pacotes estatísticos para a criação dos indicadores por meio do método ACP foram: *library(data.table)*, *library(tidyverse)*, *library(readxl)* e *library(factorextra)*. Para a análise espacial dos indicadores por setor censitário, foram utilizados os pacotes: *library(mapttools)*, *library(tidyverse)*, *library(rgdal)*, *library(broom)*, *library(tmap)*, *library(spdep)*, *library(ape)*, *library(data.table)* e *library(bit64)*.

A seleção dos indicadores tomou como referência a metodologia utilizada por Santos; Formiga e Clementino (2020), que subdividiram manualmente as variáveis nas categorias sociais, ambientais e de infraestrutura.

Para subdivisão dos indicadores considerou-se que as classes sociais mais empobrecidas não têm condições de adquirir um terreno formal, normalmente constroem moradias em áreas de risco e forte vulnerabilidade ambiental. Estas áreas são mais suscetíveis à perigos ambientais, como enchentes, poluição e desabamentos. Aliado a esse aspecto, também se observa as circunstâncias sociais, como desemprego, alimentação pobre, baixa escolaridade, baixa renda e das dificuldades de acesso aos serviços urbanos de saneamento. Então, nesses locais observa-se carência de infraestrutura, são bairros que apresentam déficits em iluminação, abastecimento de água, tratamento de esgoto, coleta de lixo e sistema de drenagem.

Geralmente ocorre o problema de explicar somente uma pequena parte da variabilidade, quando se considera somente a primeira componente, mas quando se considera todas, é possível explicar 100% das variações. Por isso, os indicadores foram criados de acordo com a metodologia proposta por Nagar e Basu (2002), que calcula os indicadores sobre a média ponderada de todas as componentes principais obtidas na ACP, sendo os pesos as variâncias proporcionais de cada uma delas. É importante ressaltar que foram selecionadas as variáveis com pesos significativamente diferentes de 0 por meio do intervalo percentílico bootstrap e os indicadores foram padronizados para uma escala de 0 a 1.

Além disso, os resultados foram apresentados por meio de mapas. Por fim, apresenta-se as correlações entre os indicadores desenvolvidos e a proporção de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca de lobo e a proporção de domicílios particulares permanentes com meio fio/guia. Dessa forma, é possível verificar se o sistema de drenagem se relaciona com as características ambientais, sociais e de infraestrutura dos setores censitários. Salienta-se que os setores onde não houve coleta das informações do entorno apresentaram valor zero em todas as colunas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Criação de indicadores via Análise de Componentes Principais

#### Indicador Ambiental

Verificou-se a variância explicada das 10 primeiras componentes da análise de componentes principais desenvolvida com as variáveis definidas como ambientais, de um total de 24. Dessa forma, pode-se destacar que a primeira componente sozinha foi capaz de explicar 60,42% da variabilidade dos dados. Já a segunda componente foi capaz de explicar 11,71% da variabilidade dos dados. Dessa forma tem-se na Tabela 1 os pesos e importâncias relativas de cada variável no indicador ambiental criado.

**Tabela 1 - Análise de componentes principais – qualidade ambiental**

Variável	Peso	Importância relativa
V24	-0,122	4,227%
V26	-0,140	4,859%
V29	0,020	0,698%
V30	0,024	0,840%
V31	-0,146	5,055%
V33	-0,074	2,571%
V42	-0,157	5,434%
V43	-0,165	5,705%
V44	-0,130	4,498%
V46	-0,146	5,047%
V50	-0,106	3,666%
V59	0,074	2,576%
V64	0,079	2,728%
V65	0,149	5,173%
V69	0,121	4,205%
V72	-0,162	5,610%
V74	-0,154	5,332%
V75	-0,158	5,487%
V77	-0,152	5,258%
V78	-0,143	4,952%
V79	-0,162	5,625%
V80	-0,061	2,126%
V81	-0,113	3,915%
V82	-0,127	4,413%

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Neste caso, quanto maior for o valor das variáveis V24, V26, V31, V33, V42, V43, V44, V46, V50, V72, V74, V75, V77, V78, V79, V80, V81 e V82, menor tende a ser o valor do indicador, visto que, estas variáveis apresentam pesos negativos. Quanto maior for o valor das

variáveis V29, V30, V59, V64, V65 e V69, maior tende a ser o valor do indicador, visto que, estas variáveis apresentam pesos positivos. Das 24 variáveis utilizadas, V43 e V79 são as duas que mais impactam no indicador, apresentando importâncias relativas de 5,705% e 5,625%, respectivamente.

Dado o significado das variáveis pode-se considerar este indicador como um indicador de qualidade ambiental relacionado aos serviços públicos de saneamento tais como: abastecimento de água e remoção de lixo. A vulnerabilidade de alguns bairros relacionados à falta de coleta de lixo, com o consequente descarte inadequado aumentam o risco de poluição da água. Alguns resíduos são enterrados, o que contribui para a contaminação do lençol freático.

De acordo com Alves (2006), os setores censitários com alta vulnerabilidade ambiental possuem condições socioeconômicas significativamente piores, além de maior concentração de crianças e jovens, do que aquelas com baixa e mesmo com média vulnerabilidade ambiental. Este aspecto acontece porque as áreas de risco e degradação ambiental, muitas vezes, são as únicas acessíveis à população de baixa renda, por serem desvalorizadas no mercado de terras, devido à falta de infra-estrutura urbana.

### **Indicador de Infraestrutura**

O crescimento acelerado das cidades brasileiras ocasionou problemas na infraestrutura urbana do sistema de drenagem de águas pluviais. Entre as causas pode-se destacar a impermeabilização do solo, desmatamento, ocupação de várzeas, erosão, resíduos sólidos, retificação e canalização de rios, gerando consequências que geram impactos sociais e econômicos. Dessa forma, a falta de manejo adequado da infraestrutura de drenagem e dos resíduos sólidos associada ao volume excessivo de água superficial tem sido uma das causas da ocorrência de alagamentos. (CANHOLI, 2005)

Considerando a importância da infraestrutura, também foi verificada a variância explicada das 10 primeiras componentes da análise de componentes principais desenvolvida com as variáveis definidas como de infraestrutura, de um total de 15 componentes. Dessa forma, pode-se destacar que a primeira componente sozinha foi capaz de explicar 70,11% da variabilidade dos dados. Já a segunda componente foi capaz de explicar 8,75% da variabilidade dos dados. Dessa forma tem-se na Tabela 2 os pesos e importâncias relativas de cada variável no indicador de infraestrutura.

**Tabela 2 - Análise de componentes principais - fragilidade infraestrutural**

<b>Variável</b>	<b>Peso</b>	<b>Importância relativa</b>
V23	-0,181	6,808%
V28	-0,184	6,932%
V39	-0,208	7,817%
V40	-0,184	6,909%
V41	0,083	3,105%
V47	-0,197	7,404%
V48	-0,222	8,339%
V49	0,229	8,616%
V51	-0,178	6,691%
V52	0,162	6,093%
V53	0,036	1,370%
V58	-0,187	7,034%
V62	-0,210	7,887%
V63	-0,186	7,009%
V70	-0,212	7,985%

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Logo, pode-se destacar que quanto maior for o valor das variáveis V23, V28, V39, V40, V47, V48, V51, V58, V62, V63 e V70 menor tende a ser o valor do indicador, visto que, estas variáveis apresentam pesos negativos. Quanto maior for o valor das variáveis V41, V49, V52 e V53 maior tende a ser o valor do indicador, visto que, estas variáveis apresentam pesos positivos. Das 15 variáveis utilizadas, V48 e V49 são as duas que mais impactam no indicador, apresentando importâncias relativas de 8,339% e 8,616%, respectivamente. Dado o significado das variáveis pode-se considerar este indicador como um indicador de fragilidade infraestrutural, ou seja, quanto menor melhor.

As variáveis citadas indicam que o aumento da vulnerabilidade socioambiental está relacionado à baixa eficiência da infraestrutura urbana. Por isso, é preciso investir em saneamento básico nessas comunidades, com enfoque no sistema de drenagem de águas pluviais, já que grande parte dos residentes são vulneráveis a ocorrência de alagamentos, inundações e deslizamentos de terra.

### **Indicador Social**

Verificou-se a variância explicada das 10 primeiras componentes da análise de componentes principais desenvolvida com as variáveis definidas como sociais, de um total de 30 componentes. Dessa forma, pode-se destacar que a primeira componente sozinha foi capaz de explicar 68,67% da variabilidade dos dados. Já a segunda componente foi capaz de explicar

12,40% da variabilidade dos dados. Na Tabela 3 os pesos e importâncias relativas de cada variável no indicador social.

**Tabela 3 - Análise de componentes principais – qualidade social**

<b>Variável</b>	<b>Peso</b>	<b>Importância relativa</b>
V3	-0,142	3,913%
V9	0,158	4,348%
V10	0,161	4,423%
V11	0,157	4,336%
V12	0,160	4,421%
V17	-0,152	4,190%
V18	0,086	2,367%
V19	0,130	3,593%
V27	0,063	1,747%
V34	-0,063	1,747%
V35	0,028	0,775%
V38	-0,028	0,775%
V84	-0,148	4,079%
V128	-0,102	2,810%
V129	-0,156	4,301%
V130	0,152	4,194%
V131	0,161	4,444%
V132	0,141	3,871%
V133	0,139	3,841%
V134	0,147	4,053%
V140	0,059	1,632%
V141	-0,051	1,392%
V142	-0,064	1,774%
V143	-0,156	4,286%
V146	0,115	3,157%
V147	-0,143	3,937%
V148	-0,137	3,778%
V149	0,137	3,771%
V150	0,160	4,417%
V151	0,132	3,630%

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Quanto maior for o valor das variáveis V3, V17, V34, V38, V84, V128, V129, V141, V142, V143, V147 e V148 menor tende a ser o valor do indicador, visto que, estas variáveis apresentam pesos negativos. Quanto maior for o valor das variáveis V9, V10, V11, V12, V18, V19, V27, V35, V130, V131, V132, V133, V134, V140, V146, V149, V150 e V151 maior tende a ser o valor do indicador, visto que, estas variáveis apresentam pesos positivos. Das 30 variáveis utilizadas, V131 é a variável que mais impacta no indicador, apresentando importância relativa de 4,444%.

Observa-se que o desenvolvimento urbano ocorre em determinados bairros, enquanto outros são segregados espacialmente. Assim, o indicador social pode fornecer um posicionamento sobre os processos que influenciam negativamente o desenvolvimento sustentável dos municípios. Constitui-se em uma ferramenta de gestão ambiental para tomada de decisão, com foco em questões econômicas, sociais e culturais em escala local.

### **Indicador Final**

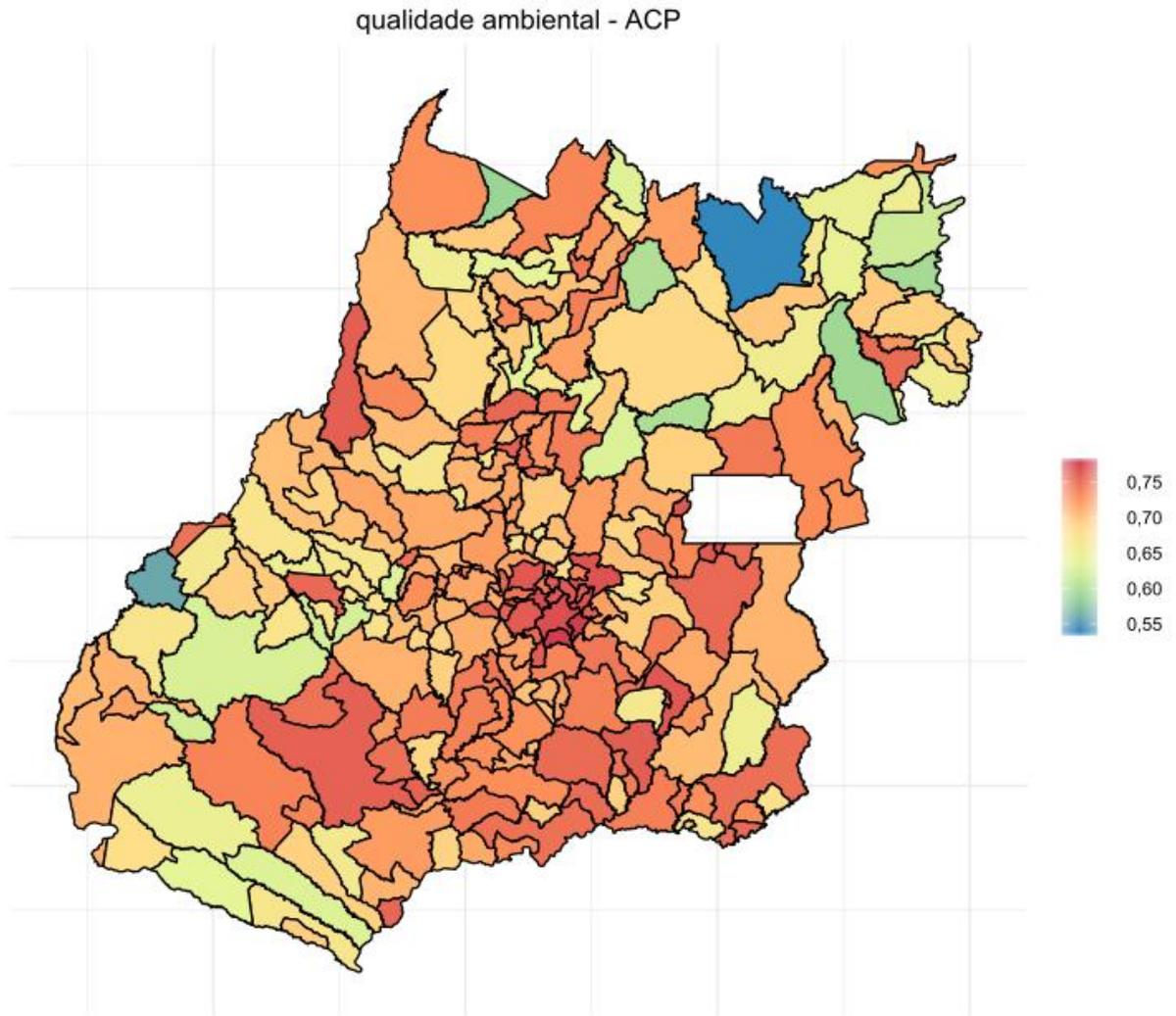
Dados os 3 indicadores desenvolvidos, qualidade ambiental, fragilidade infraestrutural e qualidade social, foi desenvolvido um indicador que agrega estes três. Pode-se destacar que a primeira componente sozinha foi capaz de explicar 65,4% da variabilidade dos dados.

Quanto maior for o valor dos indicadores de qualidade ambiental e qualidade social maior tende a ser o valor do indicador final, visto que, estes indicadores apresentam pesos positivos. Quanto maior for o valor do indicador de fragilidade infraestrutural menor tende a ser o valor do indicador final, visto que, fragilidade infraestrutural apresenta peso negativo. Dos 3 indicadores, qualidade ambiental é o que mais impacta no indicador final, apresentando importância relativa de 41,184%. O indicador de fragilidade ambiental obteve importância relativa de 38,56 % e o indicador de qualidade social obteve importância relativa de 20,25%. Dado o significado e peso dos indicadores utilizados pode-se considerar este indicador final como um indicador de qualidade geral, ou seja, quanto maior melhor.

### **Análise espacial dos indicadores por setor censitário**

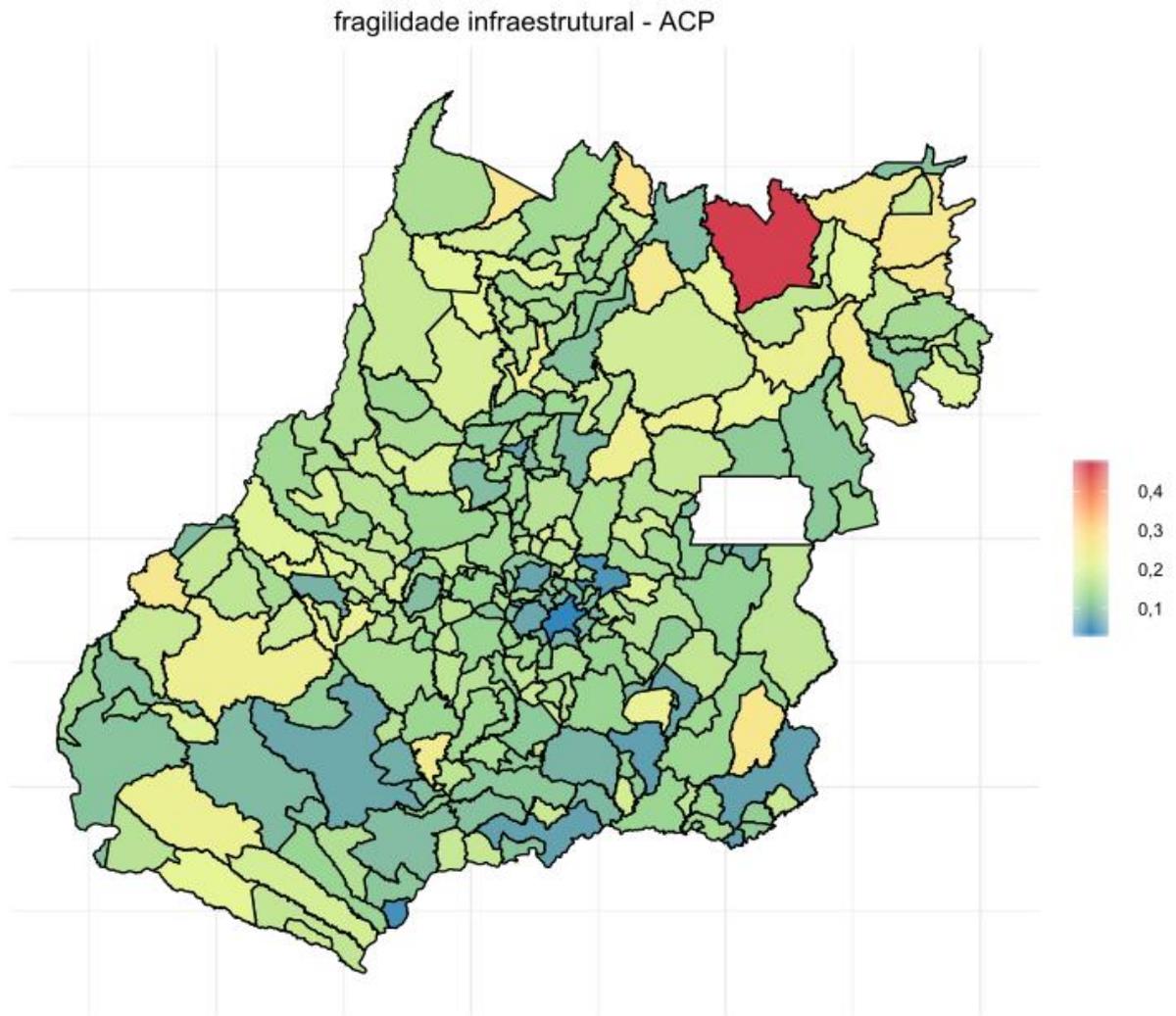
Nota-se uma lacuna nos mapas referente ao Distrito Federal devido à informações ausentes que foram retirados das análises. Para determinação do valor dos indicadores por município foi aplicada a média em relação aos setores censitários que compunham o município, conforme observado nas Figuras 1 a 4.

**Figura 1 - Mapa do indicador de qualidade ambiental obtido via ACP por município**



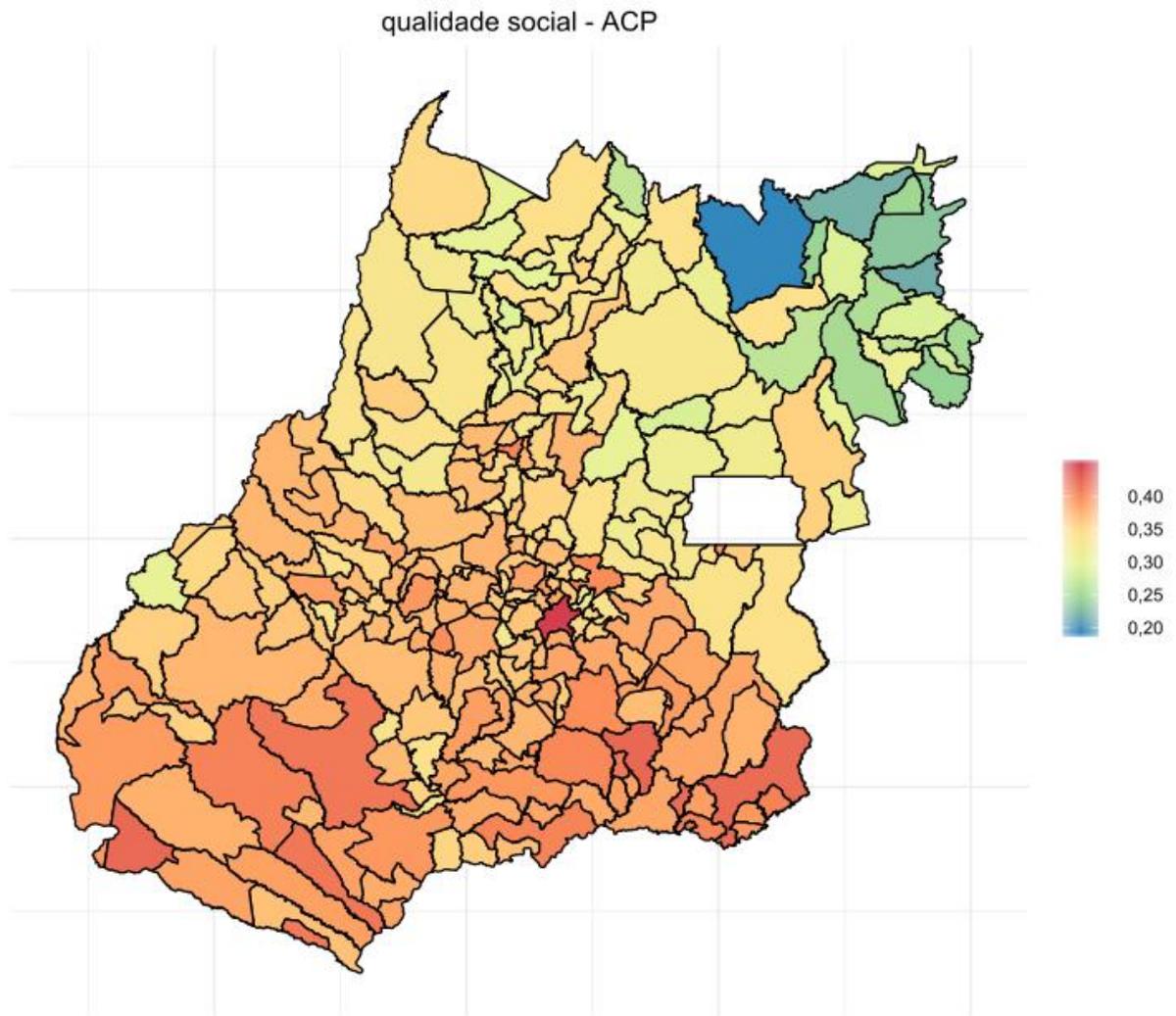
**Fonte:** Elaborada pelos autores.

**Figura 2 - Mapa do indicador de fragilidade infraestrutural obtido via ACP por município**



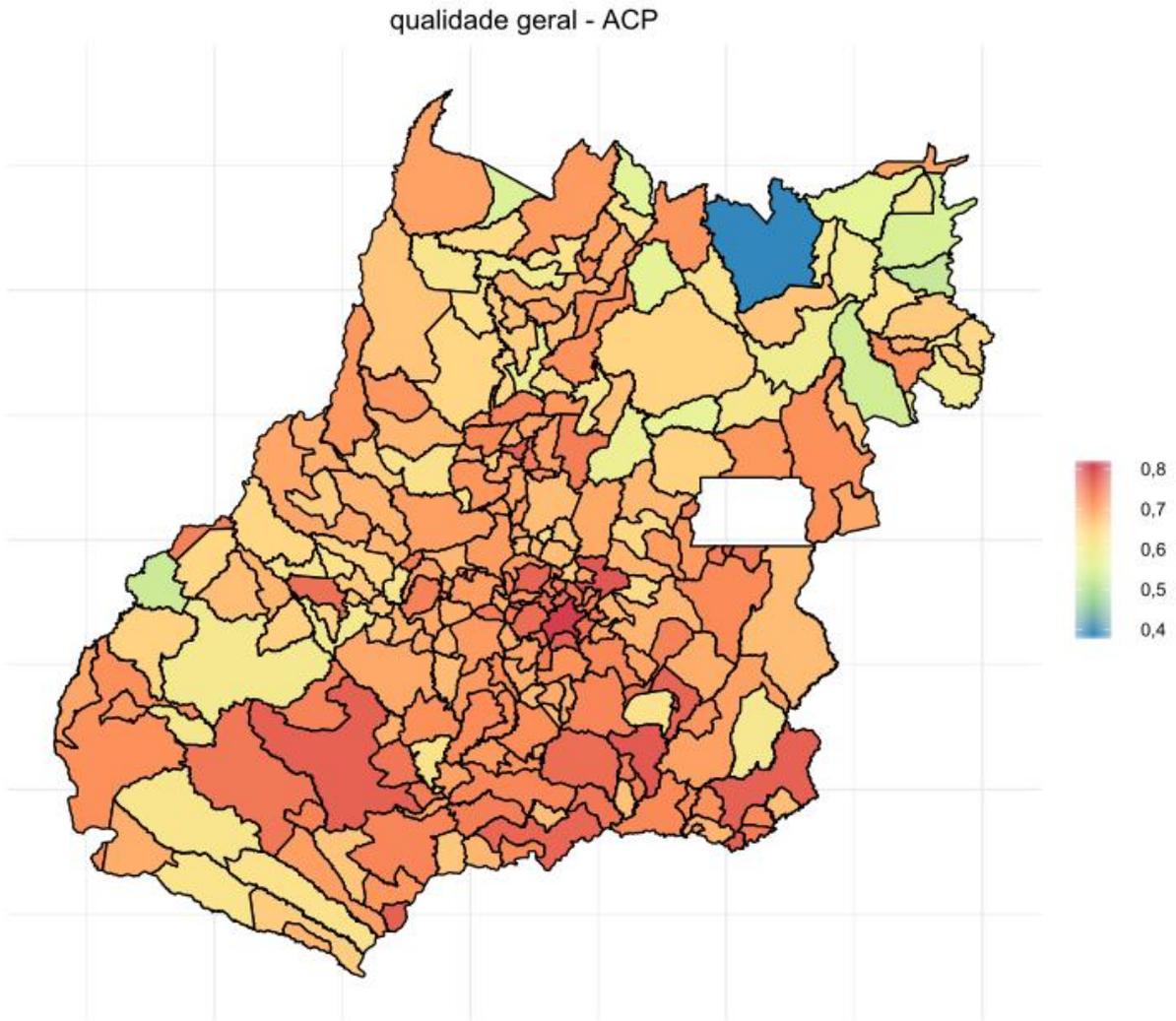
**Fonte:** Elaborada pelos autores.

**Figura 3 - Mapa do indicador de qualidade social obtido via ACP por município**



**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Figura 4 - Mapa do indicador de qualidade qualidade geral obtido via ACP por município



Fonte: Elaborada pelos autores.

A forma de interpretação do mapa se mantém: para os indicadores de qualidade, quanto maior os valores, melhor, já com relação aos indicadores de fragilidade, quanto menor melhor.

Nota-se que nos mapas o município de Cavalcante se destaca por possuir os piores indicadores e esse fato é muito coerente quanto se verifica que este município apresentou o pior IDH de Goiás em 2010.

Foi realizada uma pesquisa sobre o manejo de águas pluviais a fim de detectar as condições de drenagem no estado de Goiás levando em consideração as áreas de risco sem infraestrutura de drenagem, a erosão laminar de terrenos sem cobertura vegetal e a ocupação desordenada nos municípios. Os municípios que foram considerados com situação precária

foram Goiânia, Pirenópolis, Águas Lindas de Goiás, Santo Antônio do Descoberto, Cidade Ocidental, Luziânia São Miguel do Araguaia, Mozarlândia, Córrego do Ouro, Maurilândia, Cristalina, Ipameri e Três Ranchos (IBGE, 2008).

Em Goiânia, as chuvas intensas que ocorrem entre os meses de outubro a março, favorecem o volume das águas nos córregos e rios que cortam a malha urbana. Associado a isso, a impermeabilização das vias públicas e a falta de planejamento socioambiental contribuem para a ocorrência de alagamentos.

Alguns municípios se destacaram com condição muito boa de drenagem, tais como: Serranópolis, Chapadão do Céu, Aporé, Itarumã, Itajá, Goianésia, Niquelândia, dentre outros. Observa-se ainda que a baixa suscetibilidade aos alagamentos ocorrem em locais com alta declividade porque o relevo acidentado favorece o escoamento. Além disso, determinados usos do solo funcionam como proteção natural e favorecem o aumento da infiltração, outros contribuem para aumentar o escoamento superficial (ALVES, 2006).

### **Relacionamento do sistema de drenagem e dos indicadores**

A utilização de indicadores na gestão de águas pluviais não é comumente observada nos governos municipais. O Brasil ainda está consolidando indicadores básicos de determinados setores que fazem parte do ambiente urbano. Cabe ressaltar que são ferramentas que apresentam potencial para serem utilizadas no gerenciamento dos sistemas de drenagem urbana quando são adequados à realidade municipal.

Nesse contexto, Silva (2016) e Cavalcanti Filho (2017) propuseram indicadores na área sanitária, epidemiológica, ambiental e socioeconômica que representassem o sistema de drenagem e que pudessem ser utilizados na administração pública para o gerenciamento de águas pluviais urbanas. No entanto, os indicadores além de atenderem determinados requisitos, precisam ser aplicáveis. Nesse aspecto, Von Ancken et al. (2017) ao aplicarem os indicadores determinados por Silva (2016), constataram que alguns indicadores propostos são difíceis de serem determinados, devido a exigência de equipamentos específicos.

A ausência de conhecimento sobre a realidade das águas pluviais urbanas no Brasil pode ser provida com um conjunto de indicadores consolidado. Para que sejam utilizados pelo poder público, é importante que possibilitem fácil manuseio e requeira informações de fácil obtenção. Assim, as informações disponibilizadas devem ser contínuas, a fim de permitir a avaliação de desempenho do sistema ao longo dos anos, favorecendo a avaliação de políticas existentes e

possíveis reformulações. Destaca-se também a importância da publicidade dos indicadores, para informar as condições de determinado processo e tornar a gestão transparente (BAUM; GOLDENFUM, 2021).

Para verificar se o sistema de drenagem se relaciona com as características ambientais, sociais e de infraestrutura dos setores censitários, apresenta-se nesta seção as correlações entre os indicadores desenvolvidos e a proporção de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca de lobo e a proporção de domicílios particulares permanentes com meio fio/guia.

Na Tabela 4 tem-se as correlações entre as variáveis do sistema de drenagem e os indicadores obtidos via análise de componentes principais. A única situação que apresenta um sentido contrário ao esperado é a correlação entre a proporção de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca de lobo e o indicador de qualidade ambiental, visto que esta foi negativa e teoricamente esperava-se um valor positivo. No entanto, de todas as correlações esta foi a menor, sendo de especificamente  $-0,09824722$ , valor extremamente baixo, indicando provavelmente uma correlação espúria.

**Tabela 4 - Correlações entre os indicadores ACP e a presença de bueiro/boca de lobo e meio fio/guia**

-	Bueiro/boca de lobo	Meio fio/guia	Qual. ambiental - ACP	Frag. infraest. - ACP	Qual. social - ACP
Bueiro/boca de lobo	1,00	0,37	-0,10	-0,36	0,48
Meio fio/guia	0,37	1,00	0,14	-0,53	0,44

Na literatura observa-se diversas associações de indicadores de drenagem urbana com os aspectos socioambientais. Silva *et al.* (2013), desenvolveram uma ferramenta de avaliação do sistema de drenagem urbana utilizando indicadores de sustentabilidade. Para isso indicaram considerar a porcentagem de lotes que possuem dispositivos de armazenamento e infiltração para água pluvial ou dispositivos de captação e reuso. Também analisaram a importância dos municípios apresentarem diretrizes para execução das bocas de lobo, sarjetas e meio fio, bem como as condições físicas desses equipamentos. Além disso, constataram a necessidade de observar a disposição de resíduos sólidos nas vias públicas e frequência da limpeza urbana, a fim de identificar se existe a possibilidade de que os dispositivos de drenagem estejam sendo obstruídos.

Majesk *et al.* (2014), propuseram indicadores para o município de Vitória considerando a gestão da drenagem, manutenção, interferências à eficácia do sistema, além de fatores sociais,

tais como a iniciativa da prefeitura em promover a participação da população em consultas e audiências públicas relacionadas ao tema.

Macedo *et al.* (2020), consideraram fatores ambientais e de infraestrutura para criação de indicadores de desempenho do sistema de drenagem aplicados no bairro Jardim Paulista, para isso levaram em consideração o grau de permeabilidade do solo, incidência de alagamentos, cadastro de rede existente, limpeza e desobstrução de galerias e cobertura dos serviços de coleta de resíduos sólidos. Os pesquisadores concluíram que os problemas relacionados às inundações no local de estudo são ocasionados pela falta do sistema de drenagem, bem como a deterioração do asfalto das ruas dos bairros em cotas mais baixas que recebem o escoamento superficial não planejado com alta velocidade de escoamento.

## CONCLUSÃO

A obtenção dos indicadores de vulnerabilidade socioambiental e a correlação com o sistema de drenagem urbana aplicados para o estado de Goiás demonstraram validade dos resultados obtidos. Dessa forma, observa-se o método ACP foi adequado para a proposta da pesquisa. Considera-se que outras formas de avaliação de indicadores podem ser utilizadas, a fim de aprimorar os resultados e obter novas experiências.

A criação dos indicadores utilizando-se do método ACP permitiu que uma grande quantidade de informações sobre o estado de Goiás fosse analisada de forma eficiente e sintética por meio do indicador geral, mas sem perder parte das informações contidas no conjunto maior de variáveis. A metodologia desenvolvida pode ser utilizada para caracterizar o desenvolvimento dos municípios da região, para isso foi realizada uma análise espacial, a fim de facilitar a visualização dos resultados alcançados.

A representação cartográfica constitui uma base importante para o planejamento de ações de prevenção e melhoria das vulnerabilidades detectadas. A intenção é que o indicador seja aplicado em outras regiões, no entanto permite comparações somente no contexto da região analisada. A incorporação de outras variáveis, como por exemplo, as obtidas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento também poderia complementar a proposta dessa pesquisa.

Percebe-se que a demanda por infraestrutura e conseqüentemente melhor qualidade socioambiental exigem esforços políticos e medidas de controle e uso do solo. Nesse aspecto,

a criação de indicadores, podem contribuir com a elaboração de políticas públicas relacionadas com as vulnerabilidades constatadas.

Para o aprimoramento da metodologia, ou ainda para comparação dos resultados entre municípios pertencentes à regiões diferentes, seria indicado a formação de equipe multidisciplinar, diante da complexidade de análise.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, L. C. S.; SAMPAIO, C. A. C. Indicadores de Bem Viver: pela valorização de identidades culturais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 53, 2020.
- ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 23, n. 1, p. 43-59, 2006.
- ALVES, H. P. F. Analysis of socio-environmental vulnerability in Cubatão, SP, Brazil, through the integration of socio-demographic and environmental data at the intra-urban scale. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 30, n. 2, p. 349-366, 2013.
- BAUM, C. A., GOLDENFUM, J. A. Indicadores e índices para o gerenciamento de águas pluviais urbanas no Brasil: situação atual e oportunidades de evolução. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 18, e21, 2021. <https://doi.org/10.21168/rega.v18e21>
- BERTILSSON, L.; WIKLUND, K.; DE MOURA TEBALDI, I.; REZENDE, O. M.; VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M. G. Urban flood resilience—A multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning. **Journal of Hydrology**, v. 573, p. 970-982, 2019.
- BIRGANI, Y. T.; YAZDANDOOST, F. An integrated framework to evaluate resilient-sustainable urban drainage management plans using a combined-adaptive MCDM technique. **Water Resources Management**, v. 32, n. 8, p. 2817-2835, 2018.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2005.
- CASTRO, L. D.; BAPTISTA, M. B.; CORDEIRO NETTO, O. D. M. Análise Multicritério para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana: Proposição de Indicadores e de Sistemática de Estudo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 9(4), 05-19, 2004.
- CAVALCANTI FILHO, M. J. L. **Desenvolvimento e avaliação de um conjunto de indicadores para representação do sistema de drenagem urbana** (Dissertação de mestrado). Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.
- CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPCÃO, R. D. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**, v. 43, p. 94-108, 2020.

- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. Introduction to the Bootstrap. **In Statistical Science**, 1993.
- FEKETE, A. Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany. **Natural Hazards & Earth System Sciences**, v. 9, n. 2, 2009.
- FREITAS, M. I. C.; CUNHA, L. Cartografia da vulnerabilidade socioambiental: convergências e divergências a partir de algumas experiências em Portugal e no Brasil. urbe, **Rev. Bras. Gest. Urbana, Curitiba**, v. 5, n. 1, p. 15-31, June 2013.
- GUIMARÃES, R. M.; MAZOTO, M. L.; MARTINS, R. N.; CARMO, C. N. D.; ASMUS, C. I. F. Construction and validation of a socio-environmental vulnerability index for monitoring and management of natural disasters in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 10, p. 4157-4165, 2014.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manejo de águas pluviais, 2008. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096\\_cap10.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_cap10.pdf)>. Acessado em: 30 de agosto de 2022.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Base de informações do censo demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário. Rio de Janeiro, 2011.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Recuperado em 27 de outubro de 2020, de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/panorama>
- MACEDO, F. F., VIEIRA, F. H., FURIGO, R. D. F. R. Indicadores de manutenção do sistema de drenagem urbana em Mogi Mirim. **Foco: caderno de estudos e pesquisas**, (15), 59-78, 2020.
- MAJESK, M., BIANCHI, D. P. Z., VERONEZ, F. A., CARVALHO, M. A. Indicador de drenagem urbana aplicada ao município de Vitória-ES. **X Encontro Nacional de Águas Urbanas**, 2014.
- MASAYNA, V., KORONIOS, A., GAO, J., GENDRON, M. Data quality and KPIs: a link to be established. **2nd World Congress on Engineering Asset Management (EAM) and The 4th International Conference on Condition Monitoring** (pp. 1377-1386), 2007.
- MAURYA, S. P., SINGH, P. K., OHRI, A., SINGH, R. Identification of indicators for sustainable urban water development planning. **Ecological Indicators**, 108, 105691, 2020.
- MERKEL, W. International Report: Performance assessment in the water industry. **Water science and technology: water supply**, v. 2, n. 4, p. 151-162, 2002.
- MIGUEZ, M.G.; REZENDE, O.M.; VERÓL, A.P. City Growth and Urban Drainage Alternatives: Sustainability Challenge. **J. Urban Plan. Dev**, 2014.
- MORAES, G. F; SILVA, A. R. Carvalho B. Metodologia de diagnóstico do sistema de drenagem pluvial aplicado a microbacia do córrego Quarta-Feira em Cuiabá-MT. **E&S Engineering and Science**, v. 8, n. 1, p. 79-94, 2019.

- MORETTO, C. F.; SCHONS, M. A. Pobreza e meio ambiente: evidências da relação entre Indicadores sociais e indicadores ambientais nos estados brasileiros. **Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Fortaleza**, v. 7, 2007.
- NAGAR, A. L., BASU, S. R. Weighting socio-economic indicators of human development: a latent variable approach. **Handbook of Applied Econometrics and Statistical Inference**, 2002.
- NASCIMENTO, D.; LIMA, L. V.; CRUZ, V. Episódios e gênese dos eventos climáticos extremos em Goiânia-GO/Episodes and genesis of extreme climate events in Goiânia-GO. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 57, p. 583-608, 2019.
- RIPOL, B., PINHEIRO, H., LOPES, D. D. Seleção de indicadores de sustentabilidade para avaliação do sistema de drenagem urbana. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, 1(1), 2013.
- SANTIAGO, L.; FLORES, D.; HONG, C Y. The impact of extreme weather events on community risk planning and management: the case of San Juan, Puerto Rico after hurricane Maria. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 12, 2020.
- SANTOS, L. DE P.; MARTINS FORMIGA, K.; FERREIRA, N. Construção de um indicador socioambiental e a relação com o sistema de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, v. 55, n. 2, p. 171-191, 18 jun. 2020.
- SILVA, C. G. Environmental justice: a case of socio-environmental vulnerability in Rio De Janeiro. **Environnement Urbain/Urban Environment**, n. Volume 4, 2010.
- SILVA, M. G., Cândido, G. A., MARTINS, M. D. F. Método de construção do índice de desenvolvimento local sustentável: uma proposta metodológica e aplicada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande**, v. 11, n. 1, p. 55-72, 2009.
- SILVA, S. **Ferramenta de apoio ao manejo de águas pluviais urbanas com base em indicadores de sustentabilidade - SAMSAP** (Tese de doutorado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016. <https://doi.org/10.1063/1.1726707>
- VON ANCKEN, N. B., TEIXEIRA, B. A. N., SILVA, S. P. Aplicação de indicadores de sustentabilidade para o manejo de águas pluviais: estudo de caso em São Carlos-SP. Florianópolis: **ABRH**, 2017.
- ZHANG, Z.; HU, H.; YIN, D.; KASHEM, S.; LI, R.; CAI, H.; PERKINS, D.; WANG, S. A cyberGIS-enabled multi-criteria spatial decision support system: A case study on flood emergency management. **International journal of digital earth**, v. 12, n. 11, p. 1364-1381, 2019.

## APÊNDICE A – Apresentação das variáveis ambientais, variáveis de infraestrutura e variáveis sociais

### Apresentação das variáveis ambientais

Código	Descrição da variável
V24	% de domicílios particulares permanentes com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V25	% de domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da chuva armazenada em cisterna em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V26	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de abastecimento de água em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V29	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa séptica em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V30	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa rudimentar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V31	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via vala em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V32	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V33	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via outro escoadouro em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V42	% de domicílios particulares permanentes com lixo queimado na propriedade em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V43	% de domicílios particulares permanentes com lixo enterrado na propriedade em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V44	% de domicílios particulares permanentes com lixo jogado em terreno baldio ou logradouro em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V45	% de domicílios particulares permanentes com lixo jogado em rio, lago ou mar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V46	% de domicílios particulares permanentes com outro destino do lixo em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V50	% de domicílios particulares permanentes sem energia elétrica em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V59	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V60	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e abastecimento de água de chuva armazenada em cisterna em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V61	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e outra forma de abastecimento de água em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V64	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa séptica em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes

V65	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa rudimentar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V66	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via vala em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V67	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V68	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado, banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário via outro escoadouro em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V69	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e sem banheiro de uso exclusivo dos moradores e nem sanitário em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V71	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo e abastecimento de água da rede geral em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V72	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo e abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V73	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo e abastecimento de água de chuva armazenada em cisterna em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V74	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo e outra forma de abastecimento de água em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V75	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo e banheiro ou sanitário em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V76	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V77	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitários e esgotamento sanitário via fossa séptica em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V78	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa rudimentar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V79	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via vala em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V80	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V81	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via outro escoadouro em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V82	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo e sem banheiro de uso exclusivo dos moradores e nem sanitários em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes

### Apresentação das variáveis de infraestrutura

Código	Descrição da variável
V23	% de domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da rede geral em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V28	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitários e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V39	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V40	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado por serviço de limpeza em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V41	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado em caçamba de serviço de limpeza em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V47	% de domicílios particulares permanentes com energia elétrica em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V48	% de domicílios particulares permanentes com energia elétrica de companhia de distribuição em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V49	% de domicílios particulares permanentes com energia elétrica de outras fontes em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V51	% de domicílios particulares permanentes com energia elétrica de companhia de distribuição e com medidor de uso exclusivo em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V52	% de domicílios particulares permanentes com energia elétrica de companhia de distribuição e com medidor comum a mais de um domicílio em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V53	% de domicílios particulares permanentes com energia elétrica de companhia de distribuição e sem medidor em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V58	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e abastecimento de água da rede geral em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V62	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V63	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V70	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e banheiro em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes

### Apresentação das variáveis sociais

Código	Descrição da variável
V3	Média do número de moradores em domicílios particulares permanentes
V9	Valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com e sem rendimento)
V10	Variância do rendimento nominal mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com e sem rendimento)
V11	Valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com rendimento)
V12	Variância do rendimento nominal mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com rendimento)
V17	% de domicílios particulares permanentes próprios e quitados em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes

V18	% de domicílios particulares permanentes próprios em aquisição em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V19	% de domicílios particulares permanentes alugados em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V20	% de domicílios particulares permanentes cedidos por empregador em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V21	% de domicílios particulares permanentes cedidos de outra forma em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V22	% de domicílios particulares permanentes em outra condição de ocupação (não são próprios, alugados e nem cedidos) em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V27	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitários em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V34	% de domicílios particulares permanentes sem banheiro de uso exclusivo dos moradores e nem sanitários em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V35	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V38	% de domicílios particulares permanentes sem banheiro de uso exclusivo dos moradores em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V84	% de domicílios particulares permanentes com 5 moradores ou mais em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V128	% de domicílios particulares sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita em relação à quantidade de domicílios particulares
V129	% de domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1 salário mínimo em relação à quantidade de domicílios particulares
V130	% de domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita entre 1 e 5 salários mínimos em relação à quantidade de domicílios particulares
V131	% de domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 5 salários mínimos em relação à quantidade de domicílios particulares
V132	% de pessoas alfabetizadas com no máximo 34 anos de idade
V133	% de pessoas alfabetizadas com idade entre 35 e 49 anos de idade
V134	% de pessoas alfabetizadas com no mínimo 50 anos
V140	% de pessoas de até 10 anos de idade que tinham registro de nascimento
V141	% de pessoas de até 10 anos de idade que não tinham registro de nascimento
V142	% de pessoas de até 10 anos de idade que não sabiam se tinham registro de nascimento (inclusive sem declaração)
V143	% de pessoas de até 18 anos
V146	% de pessoas de no mínimo 50 anos
V147	% de pessoas de 10 anos ou mais de idade sem rendimento nominal mensal
V148	% de pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal de até 1 salário mínimo
V149	% de pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal entre 1 e 5 salários mínimos
V150	% de pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal de no mínimo 5 salários mínimos
V151	% de pessoas responsáveis que são alfabetizadas

## CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos na pesquisa conclui-se que o sistema de drenagem de águas pluviais que compõe a paisagem urbana, pode promover a valorização ou degradação do espaço. Geralmente, a prática das obras convencionais de engenharia, em conjunto com a segregação dos processos ecológicos agravam a situação crítica da drenagem urbana no Estado de Goiás.

Dessa forma, fica evidente a relação entre as águas pluviais e outros componentes do saneamento básico, com enfoque na presença de resíduos sólidos, que acarretam o mau funcionamento das redes e provoca a degradação das águas, o que contribui para que ocorra o processo de canalização. Portanto, é indispensável considerar os demais elementos que compõem a infraestrutura urbana, destacando-se o papel exercido em relação aos fatores sociais e ambientais.

Em relação à avaliação dos sistemas de drenagem urbana, observou-se a impossibilidade de analisar o funcionamento ou eficiência apenas por índices de cobertura de rede ou pelo atendimento per capita, isso acontece porque a existência de rede não garante a ausência de alagamentos. Contraditoriamente, onde há mais infraestrutura de drenagem, normalmente são os locais onde mais acontecem falhas. Este problema acontece porque o dimensionamento é realizado considerando-se elementos que são modificados ao longo do tempo, tais como: chuva de projeto, características da área contribuinte e tempo de retorno.

O crescimento das cidades pode provocar alterações nos padrões de chuva, bem como o aumento da impermeabilização do solo, dessa forma, os projetos não retratam as reais características da bacia. Além disso, o dimensionamento dos sistemas de drenagem é realizado com a finalidade de transportar águas pluviais, mas na realidade ocorre a mistura com esgotos, sedimentos e resíduos sólidos, resultando na obstrução das redes. Devido a fatores como esses, ocorrem falhas nos sistemas, tornando-se necessárias intervenções e reparos constantes, a fim de evitar obsolescências e perdas econômicas e ambientais. No entanto, em alguns casos, podem ser inviáveis devido aos altos custos e às limitações de espaço para ampliar o sistema.

Observou-se que normalmente a maior parte dos municípios brasileiros drenam as águas pluviais por meio de redes de drenagens projetadas, o que reduz o

armazenamento da água no solo e resulta no aumento da velocidade e do volume escoado superficialmente. Dessa forma, as obras de canalização para conduzir o escoamento pluvial podem solucionar o problema localmente, transferindo o problema a jusante.

Nesse aspecto, apresenta-se a noção da necessidade de manejar as águas pluviais como importante elemento da paisagem. Assim, busca-se identificar os processos naturais e os impactos negativos ocasionados sobre eles com a expansão dos centros urbanos. A ocorrência de falhas no sistema de drenagem relaciona-se à falta de um planejamento sistemático que considere a bacia hidrográfica como componente a ser analisado.

Ao considerar a complexidade e as relações do sistema de drenagem com os demais elementos do espaço urbano é possível concluir que nem sempre quem gera o alagamento sofre com as consequências diretas. Em decorrência disso, algumas cidades brasileiras estão substituindo a ampliação ou implantação de redes de drenagem, por técnicas que buscam atenuar os impactos da urbanização no escoamento natural das águas, denominadas técnicas compensatórias.

Nesse tipo de técnica, busca-se o tratamento do escoamento superficial o mais próximo possível da fonte geradora, por meio de dispositivos que promovam a infiltração ou amortecimento das águas pluviais, com a finalidade de diminuir as vazões de pico e o volume escoado superficialmente. No Brasil, destacam-se a utilização de pavimentos permeáveis, telhados verdes e reservatórios de retenção.

Analisando-se os problemas expostos, observa-se que a busca por um sistema de drenagem ideal perpassa pela utilização de indicadores que permitam avaliar as condições dos sistemas e priorização de políticas públicas, ao invés de considerar a simples existência de redes e a ocorrência de alagamentos ou inundações. No entanto, vale ressaltar algumas dificuldades encontradas, tais como: déficit informacional sobre os sistemas de drenagem, déficit de cobertura e déficit participativo, visto que as soluções para os problemas constatados, geralmente são concebidas sem considerar as efetivas demandas da sociedade.

A defasagem informacional está relacionada ao pouco conhecimento sobre a caracterização das bacias e sub-bacias urbanas. Também são observadas falhas cadastrais das redes de drenagem e precariedade de informações hidráulicas e hidrológicas, o que dificulta a análise do funcionamento do sistema, bem como futuras intervenções.

Para a realização de reparos na rede de drenagem e manejo das águas pluviais, é recomendado considerar a utilização dos indicadores socioambientais no planejamento, já que contribuem para a avaliação da deficiência da infraestrutura urbana. Como foi analisado, esses indicadores podem estar relacionados à população atendida, cobertura do solo, quantidade de transbordamentos, nível educacional, renda, aceitação social, dentre outros. No entanto, também são informações dificilmente encontradas ou consideradas na gestão das águas pluviais.

De acordo com as análises realizadas foi possível constatar que em média, apenas 23% dos domicílios particulares permanentes possuem boca de lobo, o que evidencia defasagem na cobertura do sistema de drenagem no estado de Goiás. A carência de avaliação prévia da necessidade de implantação do sistema de drenagem tradicional associada à baixa utilização de técnicas compensatórias expõem a sociedade à ocorrência de alagamentos e questões sanitárias, como contaminação. Nesse contexto, os indicadores que relacionam a abrangência e frequência das falhas com os impactos negativos ocasionados, podem ser utilizados para avaliar o déficit de cobertura do sistema de drenagem.

Para o concebimento do sistema de drenagem, há de se considerar ainda a participação da sociedade, de forma que envolva o processo de conscientização para que a população contribua de forma benéfica para o desempenho esperado. Determinadas soluções poderiam ser tecnicamente funcionais se houvesse o envolvimento social na análise dos problemas e implantação de soluções.

Considerando-se os indicadores levantados, foi possível constatar que muitas pesquisas também levam em consideração a necessidade de elaborar o planejamento com dados sobre a qualidade das águas pluviais, estudos sobre as limitações tecnológicas do sistema de drenagem tradicional, além de ponderar as questões legais que interferem na gestão

Observa-se que a sociedade reconhece as limitações das soluções tradicionais de drenagem, mas isso não reflete na implantação efetiva de novas tecnologias. Para que essas mudanças ocorram, há a necessidade de considerar outros elementos constituintes do saneamento básico, capacitação técnica para manutenção do sistema implantado e avaliação sistemática das medidas utilizadas.

Em grande parte dos municípios ocorre dificuldade para continuidade das aplicações das políticas públicas, tendo em vista a falta de atualização do corpo técnico e consenso sobre as responsabilidades compartilhadas. Além disso, constata-se que no geral, os Planos Municipais de Saneamento Básico, abordam a temática considerando obras de canalização como solução dos problemas evidenciados. Nesse contexto, ainda há a necessidade de difundir a importância da conservação do ciclo hidrológico natural, compensação dos efeitos adversos causados pela urbanização e restringir a ocupação de áreas de risco.

Assim, os indicadores socioambientais de drenagem urbana contribuem para o manejo de águas pluviais e estabelecimento de critérios para avaliação dos sistemas de drenagem existentes e planejamentos futuros. Dessa forma, há a possibilidade de implantar soluções que permitam a convivência da população com os processos naturais.