

CONDIÇÕES SANITÁRIO-AMBIENTAIS EM ÁREAS DE MORROS URBANOS DA ZONA NORTE DO RECIFE, BRASIL: APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE SALUBRIDADE AMBIENTAL COM UTILIZAÇÃO DE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Sanitary-Environmental Conditions in Urban Hill Areas in The North of Recife, Brazil: Application of The Environmental Sanitation Index Using Multivariate Statistics

Jocimar Coutinho Rodrigues Junior

Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB, Ilhéus (BA), Brasil

jocimar.junior@gfe.ufsb.edu.br

Lucas Tardelly Lins Mariz Ferreira

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife (PE), Brasil

lucas.tardelly@ufpe.br

Roberto Quental Coutinho

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife (PE), Brasil

roberto.coutinho@ufpe.br

Fabício Motteran

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife (PE), Brasil

fabicio.motteran@ufpe.br

José Roberto Gonçalves de Azevedo

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife (PE), Brasil

roberto.azevedo@ufpe.br

Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife (PE), Brasil

anderson.paiva@ufpe.br

Resumo

Os morros urbanos da Zona Norte do Recife constituem áreas marcadas por intenso processo de urbanização e crescimento populacional, nem sempre acompanhado pela adequada expansão da infraestrutura e dos serviços de saneamento. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar as condições de salubridade ambiental em 20 bairros da região por meio da aplicação do Índice de Salubridade Ambiental (ISA), associada à análise de agrupamentos. Foram utilizadas informações provenientes de bases de dados secundárias e de levantamentos de campo para compor os sete indicadores do ISA. Posteriormente, realizou-se a análise hierárquica de agrupamento pelo método de Ward. Os valores do ISA variaram entre 50,21 e 65,91, o que enquadra todos os bairros na categoria de média salubridade. Cajueiro (65,91) e Porto da Madeira (63,96) apresentaram os maiores valores, enquanto Vasco da Gama (52,15) e Passarinho (50,21) registraram os menores. As principais limitações estiveram

associadas ao esgotamento sanitário e à drenagem urbana, evidenciando desigualdades na distribuição da infraestrutura e dos serviços públicos. A análise de agrupamentos identificou padrões distintos de similaridade, demonstrando que bairros com classificação geral semelhante podem apresentar combinações distintas de vulnerabilidades sanitárias, ambientais e socioeconômicas. Os resultados evidenciam que a avaliação integrada dos componentes do ISA permite compreender, de forma mais abrangente, as desigualdades intraurbanas da região. Conclui-se que a associação entre o ISA e a análise de agrupamentos constitui uma ferramenta relevante para subsidiar o planejamento urbano, a priorização de investimentos públicos e a definição de intervenções territorialmente direcionadas à melhoria das condições sanitárias e ambientais na Zona Norte do Recife.

Palavras-chave: Planejamento Urbano, Saneamento Ambiental, Habitações Subnormais, Saúde Ambiental.

Abstract

The urban hillsides of northern Recife are marked by intense urbanisation and population growth that has not always been matched by adequate infrastructure and sanitation expansion. In this context, this study aimed to assess environmental health conditions in 20 neighbourhoods in the region using the Environmental Health Index (EHI), combined with cluster analysis. Information from secondary databases and field surveys was used to calculate the seven indicators comprising the EHI. Subsequently, hierarchical cluster analysis was performed using Ward's method. EHI values ranged from 50.21 to 65.91, indicating moderate environmental health conditions across all neighbourhoods. Cajueiro (65.91) and Porto da Madeira (63.96) had the highest values, while Vasco da Gama (52.15) and Passarinho (50.21) had the lowest. The main limitations were sewage collection and urban drainage, revealing inequalities in infrastructure and public service distribution. Cluster analysis identified distinct similarity patterns, showing that neighbourhoods with the same overall classification may have different combinations of sanitary, environmental, and socioeconomic vulnerabilities. The results indicate that integrating the EHI components provides a more comprehensive understanding of intra-urban inequalities in the region. The study concludes that combining the EHI with cluster analysis is a relevant tool for supporting urban planning, prioritising public investments, and defining territorially targeted interventions to improve sanitary and environmental conditions in northern Recife.

Keywords: Urban Planning, Environmental Sanitation, Substandard Housing, Environmental Health.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano acelerado e desordenado das metrópoles brasileiras, frequentemente dissociado de um planejamento capaz de assegurar condições adequadas de salubridade, contribuiu para a consolidação de espaços marcados por déficits de infraestrutura e serviços que comprometem a saúde e a qualidade de vida da população (Stanganini *et al.*, 2018; Massa *et al.*, 2020). Esse processo não ocorre de maneira homogênea, uma vez que a produção do espaço urbano tende a refletir desigualdades socioeconômicas e padrões de segregação que condicionam o acesso diferenciado à infraestrutura, aos serviços públicos e às áreas urbanizadas de melhor qualidade (Maricato, 2003; Villaça, 2011). Nesse contexto, a condição sanitária das cidades encontra-se diretamente relacionada à forma como o território é produzido, ocupado e incorporado às políticas de planejamento urbano (Lima *et al.*, 2019).

O acesso ao saneamento e à salubridade ambiental constitui um direito fundamental, cuja efetivação depende da implementação de políticas públicas e de investimentos capazes de reduzir desigualdades territoriais e ampliar a universalização dos serviços (Brasil, 1988; Zancul, 2015; Raupp *et al.*, 2019; Kouassi *et al.*, 2023). A Política Nacional de Saneamento Básico, instituída pela Lei nº 11.445/2007 (Brasil, 2007), estabelece diretrizes para a prestação desses serviços, enquanto a salubridade ambiental compreende condições relacionadas não

apenas ao saneamento, mas também à infraestrutura urbana, à saúde e às características socioambientais do território (Braga *et al.*, 2022).

Nesse sentido, sistemas de indicadores constituem instrumentos relevantes para sintetizar condições complexas, identificar desigualdades espaciais e subsidiar o monitoramento de políticas públicas (Firmansyah *et al.*, 2021). Entre esses instrumentos, destaca-se o Índice de Salubridade Ambiental (ISA), desenvolvido pelo Conselho Estadual de Saneamento de São Paulo (Conesan, 1999), que integra diferentes dimensões relacionadas às condições sanitárias e ambientais. Entretanto, por sintetizar realidades complexas mediante indicadores e ponderações, sua interpretação deve considerar as particularidades territoriais e as limitações inerentes às bases de dados e aos critérios empregados (Bernardes *et al.*, 2018).

No Recife, essas questões assumem particular relevância nas áreas de morros da Zona Norte, cuja ocupação está associada a processos históricos de expansão urbana, segregação socioespacial e acesso desigual à infraestrutura. A ocupação de encostas e terrenos de difícil acesso, muitas vezes acompanhada por investimentos insuficientes em saneamento, drenagem e urbanização, contribui para a sobreposição de vulnerabilidades sociais, sanitárias e ambientais (Araújo & Araújo, 2005). Nesses territórios, deficiências na infraestrutura podem ampliar a exposição a alagamentos, instabilidade de encostas e contaminação ambiental, evidenciando a estreita relação entre salubridade, vulnerabilidade e produção desigual do espaço urbano.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo estimar o Índice de Salubridade Ambiental nos bairros situados na área de morros da Zona Norte do Recife, identificando as principais desigualdades e deficiências entre seus componentes. Adicionalmente, aplica-se uma análise de agrupamentos para reconhecer padrões de similaridade entre os bairros e distinguir diferentes configurações de vulnerabilidade sanitária e ambiental, buscando fornecer subsídios ao planejamento urbano e à definição de intervenções territorialmente direcionadas.

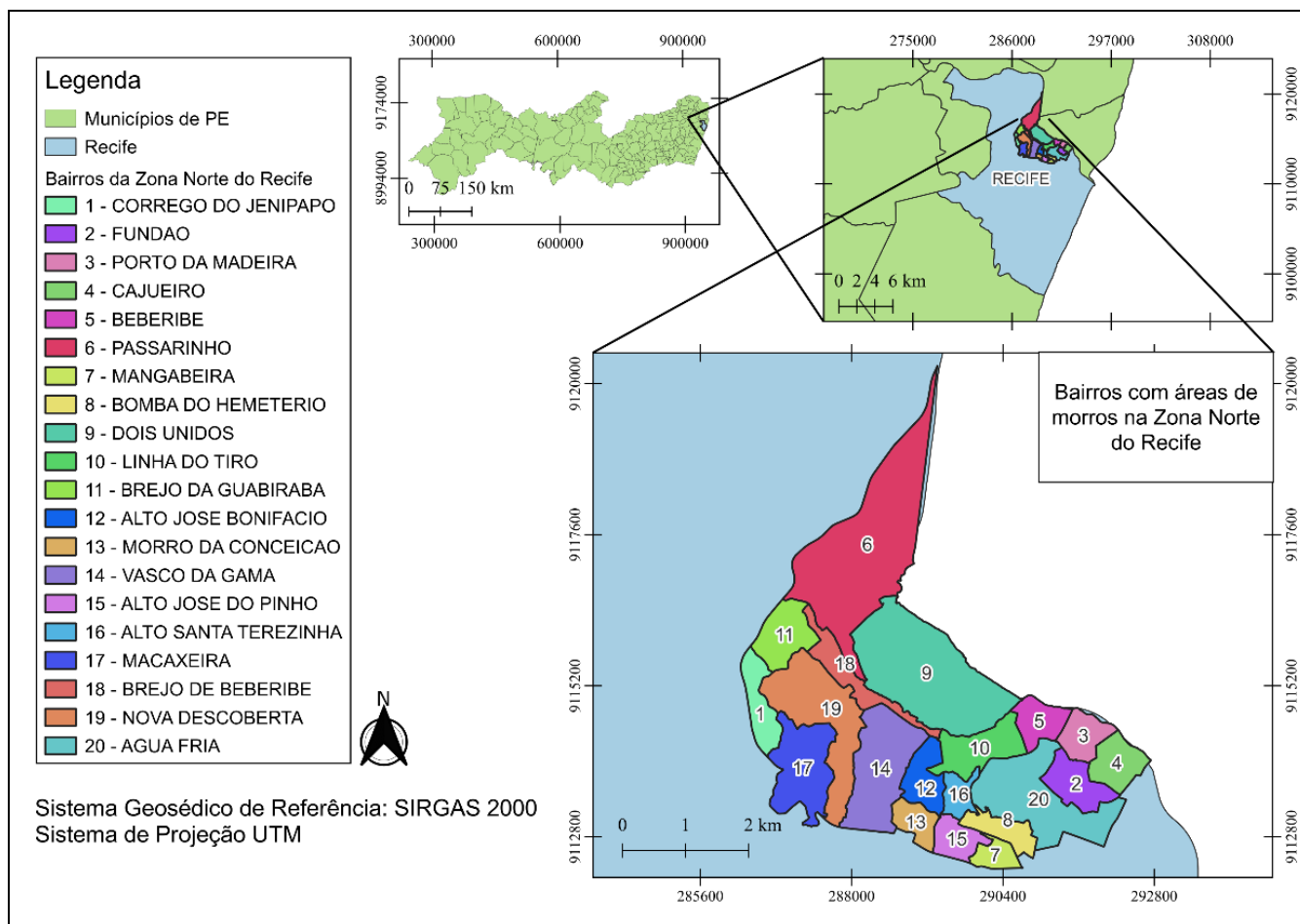
MATERIAIS E MÉTODO

Área de estudo: morros urbanos de Recife

O município do Recife, capital do estado de Pernambuco, possui aproximadamente 1,6 milhão de habitantes distribuídos em uma área de cerca de 218 km² (IBGE, 2010a). Ao longo do século XX, a expansão urbana promoveu intensas transformações socioespaciais, particularmente nas áreas de morros da Zona Norte, onde a ocupação se consolidou também em encostas e terrenos de difícil acesso (Gomes *et al.*, 2012). Para a presente pesquisa, foram

selecionados 20 bairros inseridos nessas áreas ou em suas adjacências, conforme apresentado na Figura 1. O recorte espacial reúne cerca de 315 mil habitantes em 2.115 hectares (IBGE, 2010b) e foi adotado para a aplicação do Índice de Salubridade Ambiental (ISA).

Figura 1: Localização do município do Recife e da área em estudo.



Fonte: Os autores, 2023.

Aplicação do Índice de Salubridade Ambiental - ISA

O Índice de Salubridade Ambiental (ISA), desenvolvido pelo Conselho Estadual de Saneamento de São Paulo, constitui instrumento de avaliação integrada das condições de saneamento e de apoio à gestão territorial (Conesan, 1999). Sua aplicação articula-se às diretrizes estabelecidas pela Lei Federal nº 11.445/2007, que disciplina a prestação dos serviços de saneamento básico no país (Brasil, 2007).

O ISA fundamenta-se na ponderação de indicadores relacionados direta ou indiretamente à salubridade ambiental, possibilitando subsidiar o planejamento e a gestão dos serviços de saneamento (Scolari *et al.*, 2023). Neste estudo, foram considerados os componentes de abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, drenagem

urbana, infraestrutura urbana, condições socioeconômicas e saúde pública. Os dados foram obtidos em bases oficiais e mediante visitas técnicas. A partir dessas informações, o ISA foi calculado para cada bairro conforme a Equação 1 e posteriormente classificado segundo as faixas de salubridade apresentadas na Tabela 1.

$$ISA = 0.2IAB + 0.2IES + 0.15IRS + 0.15IDU + 0.1ISE + 0.1IIU + 0.1ISP \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

ISA = Índice de Salubridade Ambiental;

IAB = Indicador de Abastecimento de Água e Recursos Hídricos;

IES = Indicador de Esgotamento Sanitário;

IRS = Indicador de Resíduos Sólidos;

IDU = Indicador de Drenagem Urbana;

ISE = Indicador Socioeconômico;

IIU = Indicador de Infraestrutura Urbana;

ISP = Indicador de Saúde Pública.

Tabela 1: Classificação do ISA.

Situação da Salubridade	Pontuação do ISA
Insalubre	0 – 25
Baixa Salubridade	25 – 50
Média Salubridade	50 – 75
Salubre	75 – 100

Fonte: Adaptado de Silva (2006)

Indicador de Abastecimento de Água e Recursos Hídricos

O Indicador de Abastecimento de Água e Recursos Hídricos (IAB), consiste em verificar os componentes que estão relacionados com o provimento de água aos habitantes. Assim, levou-se em consideração os itens de abastecimento de água a partir da rede pública, poço ou nascente, carro pipa, aproveitamento de água pluvial e qualidade de água da rede de abastecimento pública. A Equação 2 mostra a equação utilizada para cálculo do IAB e, as Equações 3 a 6 as variáveis utilizadas para o referido indicador.

$$IAB = IAA * 0.5 + IQAR * 0.1 + IFA * 0.2 + IQRAB * 0.2 \quad (\text{Equação 2})$$

$$IAA = \frac{((\% \text{ Dom. com rede pública} * 100) + (\% \text{ Dom. com poço} * 60) + (\% \text{ Dom. com cisterna} * 40) + (\% \text{ Dom. com carro pipa ou outra} * 20))}{100} \quad (\text{Equação 3})$$

$$IAQR = \sum \left(\left(\frac{\text{não há amostras em desconformidade} - 100}{\text{há amostras em desconformidade de- 0}} \right) \right) \quad (\text{Equação 4})$$

$$IFA = \text{Frequência de abastecimento classificada de acordo com a ocorrência} \quad (\text{Equação 5})$$

IQRAB = Condição da rede de abastecimento classificada de acordo a ponderação (Equação 6)

Onde:

IAB = Indicador de Abastecimento de Água e Recursos Hídricos;

IAA = Índice de Atendimento de Água, formas em que domicílios são atendidos no que concerne o abastecimento de água, sendo: Rede pública – 100, Poço – 60, Cisterna de água pluvial – 40, Carro pipa ou outra forma – 20;

IQAR = Índice de qualidade da água da rede, quantidade de amostras de água da rede de distribuição em desconformidade com a legislação no relatório de 2017, acerca dos seguintes parâmetros: coliformes termotolerantes, e. coli, cor, turbidez, cloro residual livre. Sendo: não há amostras em desconformidade – 100, há amostras em desconformidade – 0. Cada parâmetro de qualidade possui um sub peso de 20%;

IFA = Índice de frequência de abastecimento, frequência em que ocorre o abastecimento via rede pública, sendo: diariamente ou 6 vezes por semana - 100; 4 ou 5 vezes por semana - 80; 3 vezes por semana - 60; 2 vezes por semana - 40; 1 vez por semana - 20; quinzenalmente – 5;

IQRAB = Condição da rede de esgotamento sanitário de acordo classificada de acordo com a ponderação. Sendo: condição da rede de distribuição de esgotamento: 100 - 75 – Excelente ou Boa; 75 - 50 – Satisfatória; 50 - 25 – Ruim; 25 - 0 – Péssimo.

Indicador de Esgotamento Sanitário

O Indicador de Esgotamento Sanitário (IES), consiste em avaliar as condições que se referem aos fatores de destinação do esgotamento sanitário e suas intervenções. Para isso, se considerou os itens de acesso a coleta da rede pública; índice de qualidade da rede pública, que busca mensurar o estado de conservação da referida rede; acesso a água por poço ou nascente; acesso a água por carro pipa; realização de aproveitamento de água pluvial; e domicílios com acesso a banheiros com sanitários. A Equação 7 mostra a equação utilizada para cálculo do IES e, as Equações 8 a 10 as variáveis utilizadas para o referido indicador.

$$\text{IES} = \text{IDE} * 0.6 + \text{IEEV} * 0.2 + \text{IABH} * 0.2 \quad (\text{Equação 7})$$

$$\text{IDE} = \frac{\left(\begin{array}{l} (\% \text{ Dom. atendidos pela Rede Pública} * 100) + \\ (\% \text{ de Dom. com Fossa Séptica} * 60) \\ + (\% \text{ de Dom. com Fossa Rudimentar} * 30) \\ + (\% \text{ de Dom. com lançamento em valas, } \\ \text{escoadouros ou corpos hídricos} * 5) \end{array} \right)}{100} \quad (\text{Equação 8})$$

$$\text{IEEV} = \text{Condição do esgotamento sanitário a céu aberto escoando nas vias} \quad (\text{Equação 9})$$

$$\text{IABRH} = \% \text{ dos domicílios que possuem pelo menos 1 banheiro com sanitário} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

IES = Indicador de Esgotamento Sanitário;

IDE = Índice de destinação de efluentes, formas em que domicílios realizam o lançamento do esgotamento sanitário, sendo: Rede pública – 100, Fossa séptica – 60, Fossa Rudimentar – 30, Vala, Escoadouro ou Corpos Hídricos – 5;

IEEV = Índice de esgotamento a céu aberto escoando nas vias, sendo a condição de esgotamento a céu aberto: 100 - 76 – Não existe; 75 - 51 – Existe, de forma esporádica nas vias; 50 - 26 – Existe, de forma perceptível em parte das vias; 25 - 0 – Existe, de forma relevante em quase todas as vias;

IABH = Índice de acesso a banheiros, quantidade de domicílios que possuem banheiros exclusivos com sanitários (%).

Indicador de Resíduos Sólidos

O Indicador de Resíduos Sólidos (IRS), consiste em averiguar a situação do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos na área em estudo. Para isso, foram consideradas variáveis acerca da abrangência de coleta de resíduos por parte da rede pública, disposição de resíduos em caçambas para posterior coleta, bem como a limpeza pública de vias e ruas e a presença de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), Ecoestações ou Ecopontos. A Equação 11 mostra a equação utilizada para cálculo do IRS e, as equações 12 a 14 as variáveis utilizadas para o indicador em questão.

$$\text{IRS} = \text{IDRS} * 0.6 + \text{IPEV} * 0.05 + \text{IVR} * 0.35 \quad (\text{Equação 11})$$

$$\text{IDRS} = \frac{\left(\begin{array}{l} (\% \text{ Dom. com coleta a partir da rede pública na residência} * 100) \\ + (\% \text{ de Domicílios com coleta em caçambas fora da residência} * 60) \\ + (\% \text{ de Domicílios com realizam queima} * 40) + \\ (\% \text{ de Domicílios que enterram} * 30) + \\ (\% \text{ de Domicílios que depositam em terreno baldio} * 20) + \\ (\% \text{ de Domicílios que depositam em corpos d'água} * 10) \end{array} \right)}{100} \quad (\text{Equação 12})$$

$$\text{IPEV} = \text{Existe de PEV ou similar, sendo aplicado: Sim - 100; Não - 0.} \quad (\text{Equação 13})$$

$$\text{IVR} = \text{Condição da limpeza das vias de acordo com a ponderação} \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:

IRS = Indicador de Resíduos Sólidos;

IDRS = Índice de destinação de resíduos sólidos, formas em que os domicílios realizam o destinação dos resíduos sólidos, sendo: Coleta pública realizada no domicílio – 100, Depósito em caçambas fora do domicílio – 60, Queima – 40, Enterramento – 30, Depósito em terreno baldio – 20, Depósito em corpos d'água – 10;

IPEV = Índice de Pontos de Entrega Voluntária ou Similares Existência de PEV ou similar no bairro, sendo: existe – 100, não existe – 0;

IVR = Índice de limpeza de ruas e escadarias, situação da limpeza de ruas e escadarias: 0 - 25 – Não existe, 26 - 50 – Insatisfatória, 51 - 75 – Satisfatória, 76 - 100 – Boa ou Ótima.

Indicador de Drenagem Urbana

O Indicador de Drenagem Urbana (IDU), está relacionado com as questões de manejo de água pluviais na área em estudo, no que tange os dispositivos que fazem parte do sistema de drenagem e as demais questões pertinentes. Assim, foram consideradas variáveis acerca da presença de bocas de lobo nas proximidades das residências, conservação dos dispositivos, como boca de lobo, canais, sarjetas, entre outros, além da adoção de sistemas de alertas para ocorrências de chuvas intensas. A Equação 15 mostra a equação utilizada para cálculo do IDU e, as Equações 16 a 18 as variáveis utilizadas para o referido indicador.

$$IDU = IBL * 0.5 + ICDU * 0.25 + IMED * 0.25 \quad (\text{Equação 15})$$

$$IBL = \% \text{ dos domicílios que possuem bocas de lobo localizada confrontante} \quad (\text{Equação 16})$$

$$ICDU = \text{Cond. da conservação dos dispositivos de drenagem urb. ponderados} \quad (\text{Equação 17})$$

$$IMED = \text{Cond. e existência das medidas de avisos} \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

IDU = Indicador de Drenagem Urbana;

IBL = Índice de existência de bocas de lobo ou bueiro, quantidade de domicílios que possuem bocas de lobo localizada confrontante ou no canteiro central nas proximidades do logradouro (%);

ICDU = Índice de conservação dos dispositivos de drenagem urbana, situação da conservação do sistema de drenagem urbana, envolvendo bocas de lobo, sarjeta, canais e galerias, sendo: 0 - 25 – Não existe, 26 - 50 – Insatisfatória, 51 - 75 – Satisfatória, 76 - 100 – Boa ou Ótima;

IMED = Índice de medidas de emergência de avisos e controle de alagamentos e deslizamentos, situação das medidas de avisos e controle de alagamentos e deslizamentos: 0 - 25 Não existe; 26 - 50 – Existe, mas sem funcionamento; 51 - 75 – Existe, mas é insatisfatório; 76 - 100 – Existe e é satisfatório.

Indicador de Infraestrutura Urbana

O Indicador de Infraestrutura Urbana (IIU) consiste no levantamento de dados acerca das questões básicas intrínsecas de serviços urbanos infraestruturais, envolvendo a qualidade urbana da localidade. Assim, neste estudo, foram consideradas variáveis acerca da presença de energia elétrica nos domicílios, vias pavimentadas, presença de calçadas, presença de iluminação pública, arborização urbana e acessibilidade com rampas de acesso. A Equação 19 mostra a equação utilizada para cálculo do IIU e, as Equações 20 a 26 as variáveis utilizadas para o referido indicador.

$$IIU = IEE * 0.5 + IQCE * 0.1 + IPA * 0.1 + ICAL * 0.05 \quad (\text{Equação 19})$$

$$+ IUP * 0.1 + IAR * 0.05 + IRA * 0.1$$

$$IQCE = \text{Condição da qualidade e segurança das escadarias e vias} \quad (\text{Equação 20})$$

$$IEE = \% \text{ dos domicílios que possuem acesso à energia elétrica} \quad (\text{Equação 21})$$

$$IPA = \% \text{ de domicílios que possuem pavimentação no entorno da residência} \quad (\text{Equação 22})$$

$$ICAL = \% \text{ de domicílios que possuem calçadas no entorno da residência} \quad (\text{Equação 23})$$

$$IUP = \% \text{ de domicílios que possuem iluminação pública no entorno} \quad (\text{Equação 24})$$

$$IAR = \% \text{ de domicílios que possuem arborização no entorno ou na residência} \quad (\text{Equação 25})$$

$$IRA = \% \text{ de domicílios que possuem rampa de acessibilidade no entorno} \quad (\text{Equação 26})$$

Onde:

IIU = Indicador de Infraestrutura Urbana;

IEE = Índice de acesso à energia elétrica, quantidade de domicílios com acesso à energia elétrica (%);

IQCE = Índice de qualidade e segurança das escadarias e vias, condição da qualidade dos corrimãos, degraus e pavimentação das escadarias e vias, sendo: 0 - 25 – Não possui nenhuma estrutura ou quase inexistente; 26 - 50 – Estrutura insatisfatória, com grandes defeitos; 51 - 75 – Estrutura satisfatória, sem grandes defeitos estruturais; 76 - 100 – Estrutura em situação ótima;

IPA = Índice de Pavimentação, quantidade de domicílios que possuem pavimentação na rua (%);

ICAL = Índice de calçadas, quantidade de domicílios que possuem calçadas na entrada (%);

IUP = Índice de existência de iluminação pública, domicílios que são atendidos por um ponto de iluminação (%);

IAR = Índice de Arborização, domicílios que possuem vegetação na face confrontante ou no canteiro central nas proximidades do logradouro (%);

IRA = Índice de rampa de acessibilidade para cadeirante, domicílios que possuem nas proximidades rampa de acesso para cadeirante (%).

Indicador Socioeconômico

O Indicador Socioeconômico (ISE) é definido a partir das variáveis que estão relacionadas com fatores de renda e educação. Neste caso, foram consideradas como variáveis as questões de renda dos domicílios e a alfabetização dos responsáveis pelos domicílios em questão. A Equação 27 mostra a equação utilizada para cálculo do ISE e, as Equações 28 e 29 as variáveis utilizadas para o referido indicador.

$$ISE = IEA * 0.3 + IRF * 0.7 \quad (\text{Equação 27})$$

$$IEA = \% \text{ dos responsáveis pelos domicílios que são alfabetizados} \quad (\text{Equação 28})$$

$$IRF = \% \text{ domicílios com renda familiar per capita maior do que 1 salário mín.} \quad (\text{Equação 29})$$

Onde:

ISE = Indicador Socioeconômico;

IEA = Índice de alfabetização, quantidade de pessoas alfabetizadas, responsáveis pelos domicílios (%);

IRF = Índice de renda familiar, quantidade de domicílios com renda familiar per capita maior do que 1 salário-mínimo (%).

Indicador de Saúde Pública

O Indicador de Saúde Pública (ISP) é definido a partir das variáveis que estão relacionadas com os fatores de saúde coletiva, dependentes dos serviços de saneamento. Neste caso, foram consideradas como variáveis a incidência de casos de Dengue, Zica e Chikungunya, nos bairros em estudo. Ademais, também foi constatada presença de unidades de saúde nas localidades, sendo Unidades de Saúde da Família, Unidades Básicas de Saúde, entre outros. A Equação 30 mostra a equação utilizada para cálculo do ISP e, as Equações 31 a 33 as variáveis utilizadas para o referido indicador.

$$ISP = ID * 0.25 + ICH * 0.25 + IZ * 0.25 + IUS * 0.25 \quad (\text{Equação 30})$$

$$ID = \frac{\text{nº de casos em 2020}}{\text{população do bairro}} \quad (\text{Equação 31})$$

$$IZ = \frac{\text{nº de casos em 2020}}{\text{população do bairro}} \quad (\text{Equação 32})$$

$$ICH = \frac{\text{nº de casos em 2020}}{\text{população do bairro}} \quad (\text{Equação 33})$$

Onde:

ISP = Indicador de Saúde Pública;

ID = Incidência de dengue Incidência de casos de Dengue, sendo: caso qualquer tenha incidência – 0, caso não tenha incidência – 100;

IZ = Incidência de Zica, incidência de casos de Zica, sendo: caso tenha qualquer incidência – 0, caso não tenha incidência – 100;

ICH = Incidência de Chikungunya, incidência de casos de Chikungunya, sendo: caso tenha qualquer incidência – 0, caso não tenha incidência – 100;

IUS = Índice de presença de unidades de saúde, presença de unidades de saúde no bairro, sendo: caso tenha alguma unidade – 100, caso não tenha - 0.

Análise estatística multivariada

Com o propósito de identificar padrões de similaridade entre os bairros, aplicou-se a análise hierárquica de agrupamentos aos indicadores que compõem o ISA. Inicialmente, foram calculadas as distâncias euclidianas entre as observações, conforme a Equação 34, permitindo mensurar a dissimilaridade multivariada entre os perfis sanitário-ambientais analisados (Souza *et al.*, 2012).

A formação dos agrupamentos foi realizada pelo método de Ward, fundamentado na minimização da variância intragrupo e no incremento da soma dos quadrados decorrente da fusão sucessiva entre *clusters* (Kassambar, 2017), conforme as Equações 35 a 38. A análise foi processada no software Past 4.08 – Paleontological Statistics (Hammer *et al.*, 2001), sendo os resultados representados por meio de dendrograma. A definição dos grupos ocorreu mediante corte transversal da estrutura hierárquica, considerando os níveis de dissimilaridade observados.

$$d(X_i, X_k) = [(X_i - X_k)'(X_i - X_k)]^{1/2} = [\sum (X_{il} - X_{kl})^2]^{1/2} \quad (\text{Equação 34})$$

$$SSI = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^p (X_{l,k,j} - \bar{X}_{l,j})^2, \quad \bar{X}_{l,j} = \frac{1}{nl} \sum_{k=1}^{nl} (X_{l,k,j}) \quad (\text{Equação 35})$$

$$SSI_{l,i} = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^p (X_{l,k,j} - \bar{X}_j)^2 + \sum_{k=1}^{ni} \sum_{j=1}^p (X_{i,k,j} - \bar{X}_j)^2, \quad (\text{Equação 36})$$

$$\bar{X}_j = \frac{1}{nl + ni} \left(\sum_{k=1}^{nl} X_{l,k,j} + \sum_{k=1}^{ni} X_{i,k,j} \right)$$

$$d(C_l, C_i) = SSI_{l,i} - (SSI + SSI_i) \quad (\text{Equação 37})$$

$$d(C_l, C_i) = \frac{nl * ni}{nl + ni} \sum_{j=1}^p (\bar{X}_{l,j} - \bar{X}_{i,j})^2 \quad (\text{Equação 38})$$

Onde:

$X_{l,k,j}$ = valor para a variável p na observação j pertencente ao cluster l ; SSI = soma dos erros quadrados dentro do cluster l ; SSI_i = soma total dos erros quadrados (agrupando os clusters l e i).

A representatividade do dendrograma foi avaliada pelo coeficiente de correlação cofenética, que expressa o grau de correspondência entre as distâncias originais e aquelas reproduzidas pela estrutura hierárquica. Dessa forma, a análise possibilitou reconhecer conjuntos de bairros com maior similaridade entre os indicadores de salubridade, permitindo distinguir diferentes perfis sanitários e ambientais na área estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise do Índice de Salubridade Ambiental

Com a aplicação do ISA, a partir dos indicadores adotados, foram obtidos os dados de salubridade dos bairros em estudo, envolvendo as questões de saneamento ambiental. Inicialmente, foram calculados os indicadores que compõem o referido ISA, sendo: abastecimento de água e recursos hídricos, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, drenagem urbana, infraestrutura urbana, aspectos socioeconômicos e saúde pública, conforme é exposto nos itens a seguir.

Abastecimento de Água e Recursos Hídricos

No que tange aos serviços de abastecimento de água, estimou-se inicialmente a variável indicadora de cobertura de abastecimento nos bairros analisados (WCI). Observou-se que, em todos os bairros, ao menos 86,31% dos domicílios são atendidos por rede pública de abastecimento, sendo o bairro da Macaxeira aquele com menor cobertura, precisamente 86,31%. A parcela de domicílios que se utiliza de fontes alternativas, como água de poço ou de nascente, mostra-se geralmente irrelevante, representando menos de 5% na quase totalidade dos bairros. A exceção é a Macaxeira, onde aproximadamente 11,83% dos residentes consomem água proveniente dessas fontes.

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos para todas as variáveis que compõem o Indicador de Abastecimento de Água e Recursos Hídricos (WSI). O Índice de Qualidade da Água da Rede (WQSI), responsável por avaliar a pontuação relativa aos parâmetros de qualidade da água, revelou que, em todos os bairros, não houve atribuição de pontuação, uma vez que ao menos um dos parâmetros esteve em desacordo com as normas vigentes em determinados períodos de análise, conforme consta no relatório da Compesa de 2017 (Compesa, 2017).

O Índice de Frequência de Abastecimento (WSF), calculado com base no calendário de fornecimento da Compesa (Compesa, 2021), o qual indica a frequência mensal do abastecimento nas localidades, apresentou variação entre 40 e 100 pontos. Bairros como

Passarinho, Morro da Conceição e Dois Unidos revelaram maior intermitência no fornecimento, com abastecimento geralmente limitado a dois dias por semana. Em bairros como Vasco da Gama, Córrego do Jenipapo e Alto José Bonifácio, o fornecimento ocorre três vezes por semana; em Água Fria e Nova Descoberta, entre quatro e cinco vezes; já nos bairros de Brejo da Guabiraba e Macaxeira, o abastecimento tende a ser contínuo. Esse cenário evidencia a distribuição desigual da água nas áreas de morros da cidade do Recife, fato que pode estar associado a fatores como a configuração da rede de distribuição, a acessibilidade das vias de instalação, bem como às condições geográficas e ambientais locais.

Tabela 2: Componentes do índice de atendimento de água.

Bairros	ICA = Índice de cobertura de atendimento da rede pública (%)	IAP = Índice de abastecimento a partir de poço ou nascente (%)	IACP = Índice de abastecimento a partir de carro pipa ou outra forma (%)	IAAP = Índice de aproveitamento de água pluvial (%)	IAA = Índice de atendimento de água
Córrego do Jenipapo	97,55	1,68	0,00	0,77	98,87
Brejo da Guabiraba	96,58	1,43	0,00	1,98	98,24
Brejo de Beberibe	95,93	3,13	0,00	0,94	98,19
Nova Descoberta	97,86	0,92	0,00	1,22	98,90
Macaxeira	86,31	11,83	0,00	1,86	94,15
Dois Unidos	96,00	2,14	0,00	1,86	98,03
Vasco da Gama	98,96	0,48	0,00	0,56	99,47
Alto José Bonifácio	97,79	0,92	0,00	1,29	98,86
Morro da Conceição	99,29	0,30	0,00	0,41	99,63
Linha do Tiro	98,33	1,17	0,00	0,50	99,23
Beberibe	97,95	1,59	0,00	0,46	99,09
Porto da Madeira	95,72	2,01	0,00	2,27	97,83
Cajueiro	93,64	4,00	0,00	2,37	96,98
Fundão	98,68	0,64	0,00	0,68	99,33
Água Fria	97,93	1,56	0,00	0,51	99,07
Alto Santa Terezinha	98,19	0,37	0,00	1,44	98,99
Alto José do Pinho	98,32	0,88	0,00	0,80	99,17
Bomba do Hemetério	94,34	4,72	0,00	0,94	97,55
Mangabeira	98,49	0,66	0,00	0,85	99,22
Passarinho	90,59	2,76	0,09	6,56	94,89

Fonte: Os autores (2023)

O Índice de Conservação da Rede de Abastecimento (QICS), o qual avalia o estado de conservação da infraestrutura pública de fornecimento de água, apresentou valores entre 20 e 65 pontos, indicando más condições em localidades como Córrego do Jenipapo e Nova Descoberta. Também foram constatadas situações de conservação precária em bairros como Fundão e Água Fria, contrastando com condições satisfatórias em Alto Santa Terezinha e Mangabeira.

Com isso, foi calculado o Indicador de Abastecimento de Água e Recursos Hídricos (WSI), cujos valores oscilaram entre 63,44, no bairro de Passarinho, e 81,91, em Mangabeira, demonstrando uma amplitude de aproximadamente 19 pontos entre o menor e o maior índice registrado. Ressalta-se que o bairro de Passarinho, devido à sua ocupação mais recente, enfrenta maiores desafios no acesso ao abastecimento de água, em virtude da ausência de infraestrutura adequada de distribuição.

Esgotamento Sanitário

O componente de esgotamento sanitário foi inicialmente avaliado com base na variável correspondente ao Índice de Destinação de Efluentes (IDE). As modalidades de disposição de esgoto doméstico consideradas neste estudo englobam o lançamento por meio da rede geral de esgoto ou rede pluvial, a utilização de fossa séptica, fossa rudimentar, vala, lançamento em corpos hídricos e por meio de drenagem. Constatou-se que os bairros de Beberibe e Córrego do Jenipapo apresentaram os menores percentuais de atendimento por rede pública de esgoto, com 6,81% e 7,36%, respectivamente. Em contraposição, bairros como Macaxeira exibiram cobertura mais expressiva, atingindo 59,96%.

O maior percentual de domicílios que fazem uso de fossas sépticas para a disposição de efluentes foi observado no bairro Morro da Conceição, com 61,46%, enquanto o menor percentual foi identificado no bairro de Mangabeira, com apenas 1,89%. Em uma perspectiva mais ampla da Região Metropolitana do Recife (RMR), Teixeira *et al.* (2021) destacam que, no ano de 2018, a média de domicílios com acesso à rede de esgoto nos grandes municípios era de 28,21%. No entanto, os municípios de Recife e Olinda, quando considerados em sua totalidade, apresentaram percentuais superiores, com 74,69% e 52,68%, respectivamente, de domicílios atendidos, o que evidencia uma cobertura que contempla mais da metade da população residente.

Para a estimativa do Índice de Esgotamento Sanitário (SSI), conforme os dados dispostos na Tabela 3, foi também analisado o Índice de Acesso a Banheiro (BAI), indicador que expressa a proporção de domicílios com presença de banheiro com vaso sanitário. Em todos os bairros investigados, mais de 98% das residências contavam com essa estrutura mínima de saneamento.

A partir da consolidação das variáveis mencionadas, o Índice de Esgotamento Sanitário (SSI) foi estimado. O valor mais elevado foi verificado no bairro Porto da Madeira, com 70,56 pontos, ao passo que o mais reduzido foi identificado no bairro Córrego do Jenipapo, com 45,03 pontos, revelando uma amplitude superior a 25 pontos entre as localidades analisadas. A

existência de canais com esgoto sanitário a céu aberto constitui uma condição ambiental inadequada, a qual contribui para o agravamento de problemas de saúde pública e impacta negativamente a economia local, influenciando de forma adversa a valorização imobiliária, os preços de aluguéis e a dinâmica comercial das áreas afetadas.

Tabela 3: Componentes do indicador de esgotamento sanitário.

Bairros	IABH = Índice de acesso a banheiros	IEEV = Índice de esgotamento a céu aberto escoando nas vias	IDE = Índice de destinação de efluentes	IES = Indicador de esgotamento sanitário
Córrego do Jenipapo	99,49	10,00	35,32	45,03
Brejo da Guabiraba	98,60	20,00	43,08	51,19
Brejo de Beberibe	96,99	30,00	55,07	59,28
Nova Descoberta	99,40	20,00	45,58	52,64
Macaxeira	99,57	15,00	75,99	66,64
Dois Unidos	99,35	20,00	50,48	55,08
Vasco da Gama	99,14	20,00	39,11	49,34
Alto José Bonifácio	99,80	25,00	49,18	55,79
Morro da Conceição	99,12	25,00	58,15	60,10
Linha do Tiro	99,45	20,00	45,59	52,66
Beberibe	99,61	35,00	37,26	52,28
Porto da Madeira	99,70	50,00	66,27	70,56
Cajueiro	97,63	50,00	59,23	66,52
Fundão	99,92	30,00	55,49	60,23
Água Fria	99,10	15,00	55,18	56,11
Alto Santa Terezinha	99,63	25,00	50,93	56,62
Alto José do Pinho	99,80	25,00	47,01	54,70
Bomba do Hemetério	99,45	20,00	52,30	56,01
Mangabeira	99,24	20,00	46,25	52,94
Passarinho	97,62	10,00	50,86	52,33

Fonte: Os autores (2023).

Resíduos Sólidos

A gestão de resíduos sólidos constitui-se como um dos serviços mais relevantes no âmbito do saneamento ambiental. O Índice de Destinação de Resíduos Sólidos (IDRS) foi calculado a partir das formas de disposição dos resíduos domiciliares, abrangendo modalidades como coleta realizada por serviços de limpeza urbana, recolhimento em contêineres, queima, enterramento, descarte em terrenos baldios ou logradouros públicos e lançamento em corpos hídricos. Nesse contexto, verificou-se que, em todos os bairros analisados, ao menos 81,00% dos domicílios dispunham de coleta domiciliar por serviços públicos de limpeza, o que evidencia a ampla cobertura ofertada pelo município.

A estimativa do Índice de Destinação de Resíduos Sólidos (IDRS) revelou o maior valor no bairro Córrego do Jenipapo, atingindo 99,82 pontos, enquanto o menor índice foi observado

no bairro Passarinho, com 87,12 pontos. Com base nesse índice e nas variáveis integrantes do componente de resíduos sólidos, procedeu-se à estimativa do Indicador de Resíduos Sólidos (IRS), conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Componentes do índice de destinação de resíduos (IDRS).

Bairros	Domicílios com lixo coletado por serviço de limpeza (%)	Domicílios com lixo coletado em caçamba de serviço de limpeza (%)	Domicílios com lixo queimado na propriedade (%)	Domicílios com lixo enterrado na propriedade (%)	Domicílios com lixo jogado em terreno baldio ou logradouro (%)	Domicílios com lixo jogado em rio, lago ou mar (%)	IDRS = Índice de destinação de resíduos sólidos
Córrego do Jenipapo	99,71	0,15	0,00	0,00	0,15	0,00	99,82
Brejo da Guabiraba	94,51	4,93	0,03	0,00	0,44	0,00	97,57
Brejo de Beberibe	94,39	0,00	0,00	0,00	2,93	2,68	95,24
Nova Descoberta	96,51	2,20	0,04	0,01	1,22	0,00	98,09
Macaxeira	97,37	1,38	0,00	0,02	1,19	0,02	98,44
Dois Unidos	95,15	1,26	0,30	0,02	2,46	0,44	96,56
Vasco da Gama	96,54	1,04	0,05	0,00	2,29	0,00	97,65
Alto José Bonifácio	99,33	0,64	0,00	0,00	0,03	0,00	99,72
Morro da Conceição	99,05	0,44	0,00	0,00	0,51	0,00	99,42
Linha do Tiro	87,15	6,69	0,02	0,05	5,88	0,19	92,38
Beberibe	97,49	0,85	0,04	0,00	1,04	0,54	98,28
Porto da Madeira	97,77	0,04	0,00	0,00	1,29	0,21	98,08
Cajueiro	99,16	0,21	0,05	0,00	0,16	0,37	99,37
Fundão	81,00	18,96	0,00	0,00	0,04	0,00	92,38
Água Fria	94,98	1,59	0,01	0,00	3,30	0,02	96,60
Alto Santa Terezinha	95,64	1,81	0,00	0,00	2,41	0,00	97,21
Alto José do Pinho	89,49	8,49	0,00	0,00	1,91	0,03	94,97
Bomba do Hemetério	89,19	8,72	0,04	0,00	1,57	0,26	94,78
Mangabeira	96,36	1,23	0,00	0,00	2,32	0,05	97,57
Passarinho	83,27	0,47	1,74	0,07	14,23	0,07	87,12

Fonte: Os autores (2023).

Os bairros Macaxeira e Morro da Conceição destacaram-se por serem os únicos que dispõem de pontos de entrega voluntária de resíduos, denominados “Ecopontos” ou “Ecocentros”, implementados pela Prefeitura do Recife. No que tange aos serviços de limpeza de ruas e escadarias, os cenários analisados revelaram a presença de atividades como varrição, capinação e afins, classificadas, segundo a percepção da população, como inexistentes, insatisfatórias ou satisfatórias. Bairros em condição satisfatória, com maiores

pontuações, incluíram Linha do Tiro, Cajueiro, Fundão e Brejo de Beberibe, ao passo que outras localidades apresentaram condições insatisfatórias ou inexistência de tais serviços.

Dessa forma, os Indicadores de Resíduos Sólidos (IRS) foram calculados considerando todas as variáveis pertencentes ao componente de resíduos sólidos, tendo o bairro Macaxeira apresentado o maior valor, com 81,56 pontos, enquanto o bairro Passarinho registrou o menor, com 66,27 pontos. Em períodos de precipitação, resíduos armazenados inadequadamente ou dispostos de forma irregular podem ser carregados para os canais de drenagem e vias públicas, acarretando problemas de ordem socioambiental. Destaca-se a importância do monitoramento da frequência de utilização dos Ecopontos pela população, uma vez que esse parâmetro pode indicar o êxito da política pública e os padrões temporais de uso.

Drenagem Urbana

No que tange ao componente de drenagem urbana, a Tabela 5 apresenta as variáveis utilizadas para estimativa do respectivo indicador. O Índice de Existência de Bocas de Lobo (IBL), que representa a presença desses dispositivos nas vias adjacentes às residências, revela que o bairro do Cajueiro possui a maior cobertura, com 41,80% dos domicílios próximos a tais estruturas. Nos demais bairros, observa-se déficit expressivo, com cobertura inferior a 50%, sendo que em alguns locais esse percentual não ultrapassa 8,40%, o que evidencia carência significativa de infraestrutura.

O Índice de Conservação dos Dispositivos de Drenagem Urbana (ICDU) aponta também o bairro do Cajueiro com a maior pontuação, atingindo 55,00. Nos demais bairros, os valores variam entre 15,00 e 50,00, o que reflete condições insatisfatórias de conservação, com obstruções recorrentes por resíduos sólidos e lançamento inadequado de águas servidas nas sarjetas, especialmente em áreas de escadarias. Tal cenário denota a necessidade de maior intervenção do poder público, tanto na manutenção quanto na promoção de ações de educação ambiental.

No que se refere ao Índice de Medidas de Emergência de Aviso e Controle de Alagamentos e Deslizamentos (IMED), todos os bairros foram avaliados com valor fixo de 60,00. Embora exista um sistema de alerta por SMS da Prefeitura do Recife (2021c) e avisos da APAC, sua operacionalização ainda é parcial. A ampliação de medidas não estruturais, como sirenes, mapas de evacuação e aprimoramento do sistema de alertas, é recomendável para maior efetividade.

Tabela 5: Componentes do Indicador de Drenagem Urbana.

Bairros	IBL = Índice de existência de bocas de lobo ou bueiro	ICDU = Índice de conservação dos dispositivos de drenagem urbana	IMED = Índice de medidas de emergência de avisos e controle de alagamentos e deslizamentos	IDU = Indicador de drenagem urbana
Córrego do Jenipapo	0,00	15,00	60,00	18,75
Brejo da Guabiraba	3,04	20,00	60,00	21,52
Brejo de Beberibe	20,78	20,00	60,00	30,39
Nova Descoberta	1,65	25,00	60,00	22,07
Macaxeira	31,50	20,00	60,00	35,75
Dois Unidos	24,40	20,00	60,00	32,20
Vasco da Gama	2,86	20,00	60,00	21,43
Alto José Bonifácio	0,00	40,00	60,00	25,00
Morro da Conceição	0,00	50,00	60,00	27,50
Linha do Tiro	17,92	50,00	60,00	36,46
Beberibe	0,50	25,00	60,00	21,50
Porto da Madeira	29,43	25,00	60,00	35,97
Cajueiro	41,80	55,00	60,00	49,65
Fundão	28,90	20,00	60,00	34,45
Água Fria	15,50	20,00	60,00	27,75
Alto Santa Terezinha	0,00	40,00	60,00	25,00
Alto José do Pinho	1,65	50,00	60,00	28,33
Bomba do Hemetério	17,49	30,00	60,00	31,24
Mangabeira	25,05	50,00	60,00	40,02
Passarinho	2,38	15,00	60,00	19,94

Fonte: Os autores (2023).

Deste modo, procedeu-se à estimativa do Indicador de Drenagem Urbana (IDU), cujo menor valor foi registrado no bairro do Córrego do Jenipapo (18,75) e, o maior valor foi observado no bairro do Cajueiro (49,65). Os resultados evidenciam que a infraestrutura de drenagem se apresenta em estado crítico, frequentemente comprometida por fatores ambientais e padrões de ocupação desordenada. Tal cenário demanda intervenções estratégicas de planejamento urbano, com ênfase na adequação de sistemas específicos para áreas de relevo acidentado e escadarias, bem como na regulamentação e manutenção eficaz dos dispositivos convencionais de drenagem em regiões planas.

Infraestrutura Urbana

A infraestrutura urbana é um dos elementos importantes para averiguar a salubridade ambiental de uma área, em razão de dispor questões de acessibilidade e segurança para a população. A Tabela 6 revela os componentes de infraestrutura urbana (IIU), para os bairros em estudo, bem como as suas variáveis.

Tabela 6: Componentes do indicador de infraestrutura urbana.

Bairros	IEE = Índice de acesso à energia elétrica	IPA = Índice de pavimentação	ICAL = Índice de calçadas	IUP = Índice de existência de iluminação pública	IAR = Índice de arb.	IRA = Índice de rampa de acess. para cadeirante	IQCE = Índice de qualidade e segurança das escadarias e vias	IIU = Indicador de infra- urbana
Córrego do Jenipapo	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,00	54,00
Brejo da Guabiraba	99,82	17,60	7,09	22,10	2,25	0,00	60,00	60,35
Brejo de Beberibe	100,00	31,88	19,24	46,08	10,00	0,16	60,00	65,27
Nova Descoberta	99,83	3,37	2,69	3,37	1,43	0,00	50,00	55,80
Macaxeira	99,90	69,47	0,00	0,00	5,68	0,00	45,00	61,68
Dois Unidos	99,88	72,47	33,59	85,68	24,92	0,95	50,00	73,78
Vasco da Gama	99,87	9,83	6,59	10,16	2,01	0,00	50,00	57,36
Alto José Bonifácio	99,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	56,90
Morro da Conceição	99,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	56,97
Linha do Tiro	99,83	32,49	22,16	45,51	18,23	0,00	35,00	63,24
Beberibe	99,92	1,66	2,17	8,43	3,94	0,15	40,00	55,29
Porto da Madeira	99,96	54,80	38,26	63,11	43,19	0,90	80,00	73,93
Cajueiro	99,95	75,92	86,65	98,53	69,56	1,58	80,00	83,39
Fundão	99,96	53,47	51,22	65,69	33,23	1,68	35,00	69,79
Água Fria	99,88	21,87	21,73	24,14	15,58	0,16	35,00	59,92
Alto Santa Terezinha	99,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,00	55,93
Alto José do Pinho	99,83	17,75	8,63	17,98	1,11	0,00	60,00	59,97
Bomba do Hemetério	99,79	31,11	31,40	35,83	20,09	0,94	55,00	64,76
Mangabeira	99,95	30,58	26,75	34,31	20,89	0,00	55,00	64,35
Passarinho	99,86	22,32	8,89	41,76	8,96	0,02	30,00	60,23

Fonte: Os autores (2023).

No contexto da análise da infraestrutura urbana, observou-se que o Índice de Acesso à Energia Elétrica (IEE) ultrapassa 99,00% em todos os bairros, denotando ampla cobertura desse serviço essencial. Em contrapartida, os indicadores de pavimentação (IPA), calçadas (ICA), iluminação pública (IUP), arborização (IAR) e acessibilidade (IRA) revelam deficiências significativas. Destacam-se bairros com 0,00% de cobertura em alguns desses aspectos, evidenciando precariedade generalizada. O bairro de Cajueiro apresentou os melhores desempenhos, com 75,92% de vias pavimentadas, 86,55% de calçadas, 98,53% de iluminação e 69,56% de arborização. Contudo, em relação à acessibilidade, todos os bairros apresentaram IRA inferior a 2,00%, indicando ausência de infraestrutura adequada para pessoas com mobilidade reduzida.

A qualidade e segurança de vias e escadarias, aferida pelo Índice IQCE, revelou estruturas insatisfatórias em bairros como Macaxeira e Beberibe, enquanto Porto da Madeira apresentou melhores condições. Sendo assim, considerando todas as variáveis, o Indicador de Infraestrutura Urbana (IIU) apontou Córrego do Jenipapo como o bairro com pior desempenho (54,00) e Cajueiro como o melhor avaliado (83,39).

Aspectos Socioeconômicos

As questões socioeconômicas que compõem o Indicador Socioeconômico (ISE) são expostas na Tabela 7. O Índice de alfabetização (IEA) revela que em todos os bairros, no mínimo, cerca de 80,00% dos responsáveis pelos domicílios são alfabetizados. Este índice aponta a problemática educacional que atinge as localidades em situação de vulnerabilidade, o bairro de Brejo da Guabiraba possui os valores mais baixos, sendo 81,96% e, o bairro de Cajueiro, possui valores maiores, com 94,95% dos responsáveis pelas residências sendo pessoas alfabetizadas. Em geral, os níveis de educação também estão relacionados com as questões socioeconômicas e poder aquisitivo da população.

Tabela 7: Componentes do indicador socioeconômico.

Bairros	IEA = Índice de alfabetização	IRF = Índice de renda familiar	ISE = Indicador socioeconômico
Córrego do Jenipapo	85,69	15,26	36,39
Brejo da Guabiraba	81,96	12,11	33,07
Brejo de Beberibe	86,38	15,53	36,79
Nova Descoberta	84,67	11,69	33,58
Macaxeira	87,86	21,68	41,53
Dois Unidos	87,57	12,01	34,68
Vasco da Gama	88,00	19,71	40,19
Alto José Bonifácio	87,82	12,83	35,32
Morro da Conceição	87,95	17,80	38,85
Linha do Tiro	88,12	15,02	36,95
Beberibe	89,40	16,90	38,65
Porto da Madeira	94,22	43,49	58,71
Cajueiro	94,95	52,52	65,25
Fundão	91,42	32,83	50,40
Água Fria	86,95	19,19	39,52
Alto Santa Terezinha	87,85	10,94	34,01
Alto José do Pinho	88,95	15,38	37,45
Bomba do Hemetério	87,49	20,47	40,57
Mangabeira	87,19	24,24	43,13
Passarinho	81,96	9,17	31,00

Fonte: Os autores (2023).

No âmbito econômico, o Índice de Renda Familiar (IRF) revela que, na maioria dos bairros analisados, menos de 25,00% dos domicílios possuem renda per capita superior a um

salário-mínimo. Exceções notáveis são os bairros de Cajueiro (52,52%), Porto da Madeira (43,49%) e Fundão (32,83%). O menor índice foi registrado em Passarinho, com apenas 9,17%, evidenciando profundas disparidades socioeconômicas intraurbanas, típicas de centros metropolitanos brasileiros.

A renda per capita constitui um indicador-chave do nível de desenvolvimento local, sinalizando desigualdades significativas mesmo entre bairros geograficamente contíguos. Com base nas variáveis consideradas, estimou-se o Indicador Socioeconômico (ISE), cujos valores oscilaram entre 31,00 (Passarinho) e 65,25 (Cajueiro), reafirmando o panorama de desigualdade estrutural na região em estudo.

Saúde Pública

No que concerne à saúde pública, a Tabela 8 revela o Indicador de Saúde Pública (ISP) e as suas variáveis. Deste modo, foram consideradas as incidências de Dengue, Zica e Chikungunya no ano de 2020, nos bairros em estudo. Ademais, também foi ponderada a presença de postos públicos de saúde nas áreas.

Tabela 8: Componentes do indicador de saúde pública.

Bairros	IUS = Índice de presença de unidades de saúde	ID = Incidência de dengue	IZ = Incidência de zica	ICH = Incidência de chikungunya	ISP = Indicador de saúde pública
Córrego do Jenipapo	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Brejo da Guabiraba	0,00	0,00	100,00	100,00	50,00
Brejo de Beberibe	100,00	0,00	100,00	0,00	50,00
Nova Descoberta	100,00	0,00	100,00	0,00	50,00
Macaxeira	100,00	0,00	100,00	100,00	75,00
Dois Unidos	100,00	0,00	100,00	0,00	50,00
Vasco da Gama	100,00	0,00	100,00	0,00	50,00
Alto José Bonifácio	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Morro da Conceição	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Linha do Tiro	100,00	0,00	100,00	0,00	50,00
Beberibe	100,00	0,00	100,00	0,00	50,00
Porto da Madeira	100,00	0,00	0,00	100,00	50,00
Cajueiro	0,00	0,00	100,00	0,00	25,00
Fundão	0,00	100,00	100,00	100,00	75,00
Água Fria	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Alto Santa Terezinha	0,00	100,00	100,00	100,00	75,00
Alto José do Pinho	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Bomba do Hemetério	100,00	0,00	100,00	0,00	50,00
Mangabeira	100,00	0,00	100,00	0,00	50,00
Passarinho	100,00	0,00	100,00	0,00	50,00

Fonte: Os autores (2023).

A maior parte dos bairros apresenta unidades de saúde vinculadas ao Sistema Único de Saúde (SUS), tais como USFs, UPAs e UBSs. Apenas Alto Santa Terezinha e Brejo da Guabiraba não dispõem de tais estruturas, conforme dados da Prefeitura do Recife (2019). Quanto à incidência de arboviroses em 2020, foram registrados casos de dengue na maioria dos bairros, excetuando-se Córrego do Jenipapo, Alto José Bonifácio, Morro da Conceição, Fundão, Água Fria, Alto Santa Terezinha e Alto José do Pinho. Casos de Zika ocorreram apenas em Porto da Madeira, e a Chikungunya afetou metade dos bairros analisados (Prefeitura do Recife, 2020).

Com base nestes dados, foi estimado o Indicador de Saúde Pública (ISP), com valores entre 25,00 e 100,00. Os bairros isentos de registros de arboviroses e dotados de unidades de saúde obtiveram pontuação máxima. Nos demais, o índice variou, refletindo deficiências estruturais ou sanitárias. Ressalta-se que, dos quatro bairros sem unidades do SUS, dois (Cajueiro e Fundão) estão em zonas limítrofes, e dois (Brejo da Guabiraba e Alto Santa Terezinha) encontram-se em áreas mais isoladas, o que obriga a população local a buscar atendimento em bairros adjacentes, pressionando o sistema municipal de saúde.

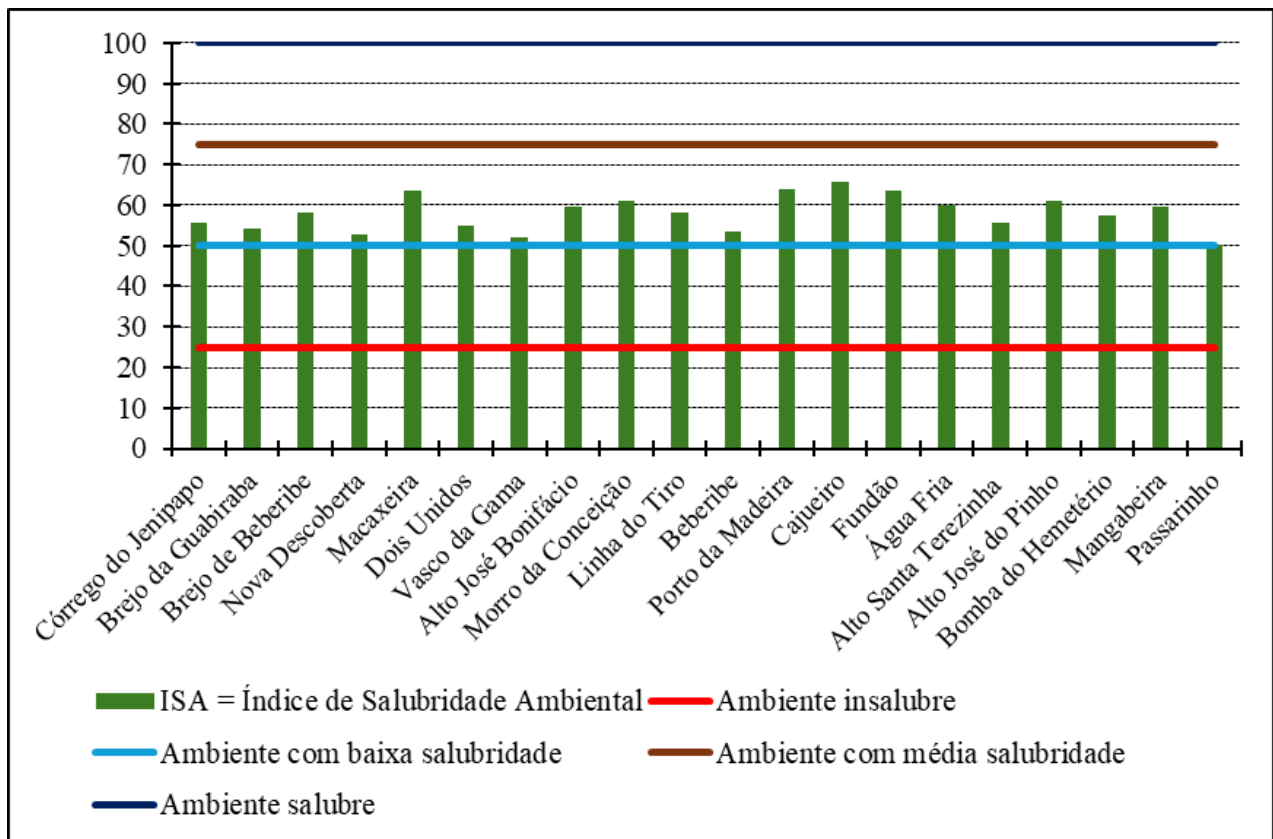
ISA Final

A integração dos indicadores avaliados possibilitou o cálculo do Índice de Salubridade Ambiental (ISA), cuja distribuição espacial entre os bairros analisados é apresentada na Figura 2. Conforme as ponderações estabelecidas na Equação 1, os indicadores de abastecimento de água (IAB) e esgotamento sanitário (IES) receberam peso de 20%; os indicadores de resíduos sólidos (IRS) e drenagem urbana (IDU), peso de 15%; e os indicadores de infraestrutura urbana (IIU), situação socioeconômica (ISE) e saúde pública (ISP), peso de 10%. A composição ponderada desses componentes permitiu sintetizar, em uma única medida, diferentes dimensões da salubridade ambiental e, simultaneamente, evidenciar desigualdades territoriais que não seriam plenamente perceptíveis mediante a análise isolada de cada indicador.

Os valores de ISA variaram entre 50,21 e 65,91, correspondendo a uma amplitude de 15,70 pontos entre os bairros. Cajueiro apresentou o maior valor do índice (65,91), favorecido principalmente pelos resultados relativamente elevados de abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, infraestrutura urbana e situação socioeconômica. Em sentido oposto, Passarinho apresentou o menor ISA (50,21), associado não apenas ao desempenho inferior de determinados componentes sanitários, mas, sobretudo, à combinação entre baixa drenagem urbana (19,94), menor situação socioeconômica (31,00) e limitações de

infraestrutura, demonstrando que a salubridade ambiental resulta da sobreposição de diferentes formas de precariedade urbana.

Figura 2: ISA Final para os bairros.



Fonte: Os autores (2023).

Embora os 20 bairros tenham sido enquadrados na faixa de salubridade média, essa homogeneidade classificatória não deve ser interpretada como evidência de condições urbanas efetivamente homogêneas. A classificação agregada pode atenuar diferenças importantes entre os componentes que estruturam o ISA. Considerando-se o conjunto dos bairros, por exemplo, o abastecimento de água apresentou média de 73,69 e o indicador de resíduos sólidos, de 72,53, enquanto a drenagem urbana apresentou média de apenas 29,25 e a situação socioeconômica, de 40,30. Desse modo, a principal limitação observada na Zona Norte do Recife não parece decorrer de uma precariedade uniforme de todos os serviços, mas da coexistência entre componentes relativamente consolidados e dimensões urbanas historicamente deficitárias.

Essa configuração deve ser compreendida no contexto mais amplo da produção desigual do espaço urbano brasileiro. Conforme discutido por Maricato (2003), as desigualdades sociais das metrópoles materializam-se territorialmente mediante formas

diferenciadas de acesso à terra urbanizada, à infraestrutura, aos serviços públicos e às condições ambientais adequadas. De modo semelhante, Villaça (2011) ressalta que a segregação urbana não constitui apenas uma separação espacial entre grupos sociais, mas integra o próprio processo de estruturação das cidades brasileiras, condicionando a distribuição de investimentos, oportunidades e infraestrutura. Assim, as diferenças identificadas pelo ISA não representam apenas disparidades técnicas na provisão de serviços de saneamento, mas podem ser interpretadas como expressão territorial de processos históricos de urbanização seletiva e segregação socioespacial.

Essa interpretação assume particular relevância na Zona Norte do Recife, onde parte expressiva da ocupação urbana se desenvolveu em áreas de morros e encostas. Nesses territórios, a expansão residencial nem sempre foi acompanhada, no mesmo ritmo, pela implantação de sistemas adequados de drenagem, esgotamento sanitário, pavimentação e demais estruturas urbanas. A ocupação de áreas de maior declividade também amplia a complexidade técnica e financeira da implantação desses sistemas, especialmente quando associada à elevada densidade construtiva, à reduzida largura das vias e à consolidação de assentamentos informais. Dessa forma, as deficiências de saneamento observadas não podem ser dissociadas da maneira pela qual essas áreas foram incorporadas à estrutura urbana do Recife.

Essa relação é particularmente evidente no indicador de drenagem urbana, que apresentou os menores valores entre os componentes avaliados. Córrego do Jenipapo (18,75), Passarinho (19,94), Beberibe (21,50), Brejo da Guabiraba (21,52), Vasco da Gama (21,43) e Nova Descoberta (22,07) constituem exemplos de bairros nos quais o reduzido desempenho desse indicador contribuiu expressivamente para limitar o ISA. A literatura sobre o Recife demonstra que a ocupação das encostas não ocorreu de maneira aleatória, estando historicamente associada à exclusão das populações de menor renda das áreas urbanas mais valorizadas. Gomes et al. (2012), ao analisarem o Córrego do Jenipapo, destacaram precisamente a relação entre produção desigual do espaço, ocupação das encostas por populações socialmente vulneráveis e exposição a processos de instabilidade do terreno.

Sob essa perspectiva, a deficiência da drenagem assume significado mais amplo do que a simples ausência ou insuficiência de dispositivos hidráulicos. Em áreas densamente ocupadas e com declividades acentuadas, a inadequação da drenagem pode potencializar o escoamento superficial, a erosão, os alagamentos localizados e a instabilidade de encostas, sobretudo durante eventos pluviométricos intensos. A precariedade desse componente pode, portanto, atuar de maneira sinérgica com condições habitacionais, socioeconômicas e de

infraestrutura, produzindo situações de vulnerabilidade socioambiental nas quais os grupos com menor capacidade econômica tendem a permanecer mais expostos aos riscos ambientais e com menor capacidade de adaptação.

Estudos desenvolvidos no contexto da Região Metropolitana do Recife corroboram essa interpretação. Maciel e Crespo (2021) evidenciaram que o processo de urbanização metropolitana ocorreu de forma fragmentada, descontínua e insuficientemente integrada, coexistindo com déficits habitacionais, limitações na infraestrutura urbana e problemas persistentes de saneamento ambiental. Nesse contexto, a expansão urbana desigual contribui para a consolidação de territórios com diferentes níveis de acesso à infraestrutura e aos serviços essenciais, reforçando a concentração das vulnerabilidades socioambientais em determinadas parcelas do espaço urbano.

A situação do esgotamento sanitário também evidencia essa diferenciação intraurbana. Enquanto Porto da Madeira e Cajueiro apresentaram valores de IES de 70,56 e 66,52, respectivamente, Córrego do Jenipapo registrou 45,03 e Vasco da Gama, 49,34. Essas diferenças mostram que bairros pertencentes a uma mesma porção da cidade podem apresentar condições bastante distintas de acesso e adequação dos serviços sanitários. Tal heterogeneidade reforça a necessidade de considerar o saneamento não apenas como uma questão de cobertura global do município, mas como um fenômeno espacialmente desigual, cuja distribuição acompanha diferenças na consolidação urbana e na trajetória dos investimentos públicos.

Nesse sentido, a comparação com outras cidades brasileiras demonstra que a elevada variabilidade espacial do esgotamento sanitário constitui uma característica recorrente das desigualdades urbanas. Peixoto *et al.* (2018), ao analisarem indicadores de saneamento a partir de setores censitários no município de Mossoró, identificaram maior diferenciação espacial no componente relacionado ao esgotamento sanitário em comparação a componentes como abastecimento de água e coleta de resíduos. A condição encontrada na Zona Norte do Recife apresenta correspondência com esse padrão, uma vez que a disponibilidade e a adequação do esgotamento sanitário também se mostram territorialmente heterogêneas, contribuindo para diferenciar os níveis de salubridade entre bairros próximos.

A comparação com Maceió é particularmente pertinente em razão das semelhanças entre determinadas características socioambientais das duas capitais nordestinas. Gama (2013), ao aplicar o ISA à bacia hidrográfica do Riacho Reginaldo, identificou condições diferenciadas de salubridade associadas, entre outros fatores, à ocupação urbana irregular e à deficiência na prestação dos serviços públicos de saneamento. Estudos subsequentes

realizados nessa mesma bacia demonstraram ainda a coexistência entre problemas de drenagem, deficiência de saneamento e consequências para a saúde pública, ressaltando que a disponibilidade formal de infraestrutura não necessariamente representa condições sanitárias adequadas em toda a extensão dos bairros.

Essa similaridade entre Recife e Maceió não deve ser compreendida apenas pela localização de ambas no Nordeste brasileiro, mas pela presença de processos de urbanização marcados pela ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e pela distribuição desigual da infraestrutura. No caso de Maceió, Gama (2013) destacou que áreas de ocupação urbana irregular apresentavam deficiências particularmente relevantes na prestação dos serviços de saneamento. Na Zona Norte do Recife, os reduzidos valores de drenagem e situação socioeconômica observados em diversos bairros sugerem configuração semelhante, na qual a vulnerabilidade social e as limitações da infraestrutura urbana tendem a se sobrepor territorialmente.

Em contrapartida, Pinto *et al.* (2014) obtiveram ISA de 79,58 para o município de São Pedro do Iguaçu, no Paraná, valor superior aos observados nos bairros analisados no presente estudo. Apesar da condição global mais favorável, os autores identificaram limitações relacionadas à gestão dos resíduos sólidos, sobretudo em áreas rurais. Essa comparação demonstra que os fatores responsáveis pela redução da salubridade ambiental não são uniformes entre os territórios: enquanto em determinados municípios a coleta e a destinação de resíduos constituem os principais fatores limitantes, na Zona Norte do Recife a drenagem urbana, o esgotamento sanitário e as condições socioeconômicas apresentam importância mais expressiva.

Essas diferenças também evidenciam uma característica fundamental do ISA: sua interpretação deve considerar o contexto territorial no qual o índice é aplicado. Revisões sobre a utilização desse indicador no Brasil demonstram ampla diversidade de componentes, ponderações e critérios de referência, o que reforça a necessidade de adequação às especificidades locais. Desse modo, a comparação entre valores absolutos obtidos em diferentes municípios deve ser realizada com cautela, privilegiando-se a análise dos componentes responsáveis pelas condições de maior ou menor salubridade e dos processos territoriais que condicionam seu comportamento.

Deve-se considerar, ainda, que os pesos atribuídos aos componentes exercem influência direta sobre o valor final do ISA e constituem uma escolha metodológica capaz de conferir maior relevância relativa a determinadas dimensões da salubridade ambiental. Embora as ponderações adotadas neste estudo estejam vinculadas à estrutura metodológica utilizada,

diferentes esquemas de pesos podem alterar a contribuição de cada componente para o índice global e, conseqüentemente, produzir variações nos resultados. Essa condição reforça a necessidade de cautela na comparação entre estudos que empreguem diferentes critérios de ponderação ou sejam desenvolvidos em contextos territoriais distintos.

No caso da Zona Norte do Recife, os resultados sugerem que as condições de salubridade ambiental são indissociáveis da trajetória de produção e ocupação do território. Os menores valores de ISA tendem a ocorrer onde diferentes limitações se sobrepõem, incluindo drenagem insuficiente, esgotamento sanitário deficitário, menor disponibilidade de infraestrutura urbana e condições socioeconômicas menos favoráveis. Essa combinação configura situações de vulnerabilidade socioambiental nas quais a exposição a problemas sanitários e ambientais se articula à menor disponibilidade de recursos e serviços capazes de reduzir seus efeitos.

Conseqüentemente, a melhoria das condições de salubridade ambiental não depende exclusivamente da expansão quantitativa das redes de saneamento. São necessárias intervenções territorialmente diferenciadas que articulem esgotamento sanitário, abastecimento de água, manejo de resíduos sólidos, drenagem urbana, urbanização de áreas precárias, estabilização de encostas e qualificação da infraestrutura. Nos bairros situados em áreas de morro, em particular, as políticas de drenagem e saneamento devem ser integradas às ações de redução de riscos e de requalificação urbanística, evitando intervenções setoriais incapazes de responder à multidimensionalidade das vulnerabilidades existentes.

Dessa forma, os resultados do ISA evidenciam que a salubridade ambiental na Zona Norte do Recife não constitui apenas uma questão técnico-sanitária, mas também uma expressão das desigualdades socioespaciais historicamente consolidadas na cidade. A universalização dos serviços permanece imprescindível, porém deve ser acompanhada pela priorização dos territórios nos quais déficits sanitários, precariedade urbana e vulnerabilidade socioeconômica se sobrepõem. A redução dessas desigualdades requer, portanto, uma abordagem integrada entre planejamento urbano e saneamento, capaz de reconhecer a distribuição desigual dos riscos e da infraestrutura e de orientar os investimentos públicos para as áreas historicamente menos atendidas.

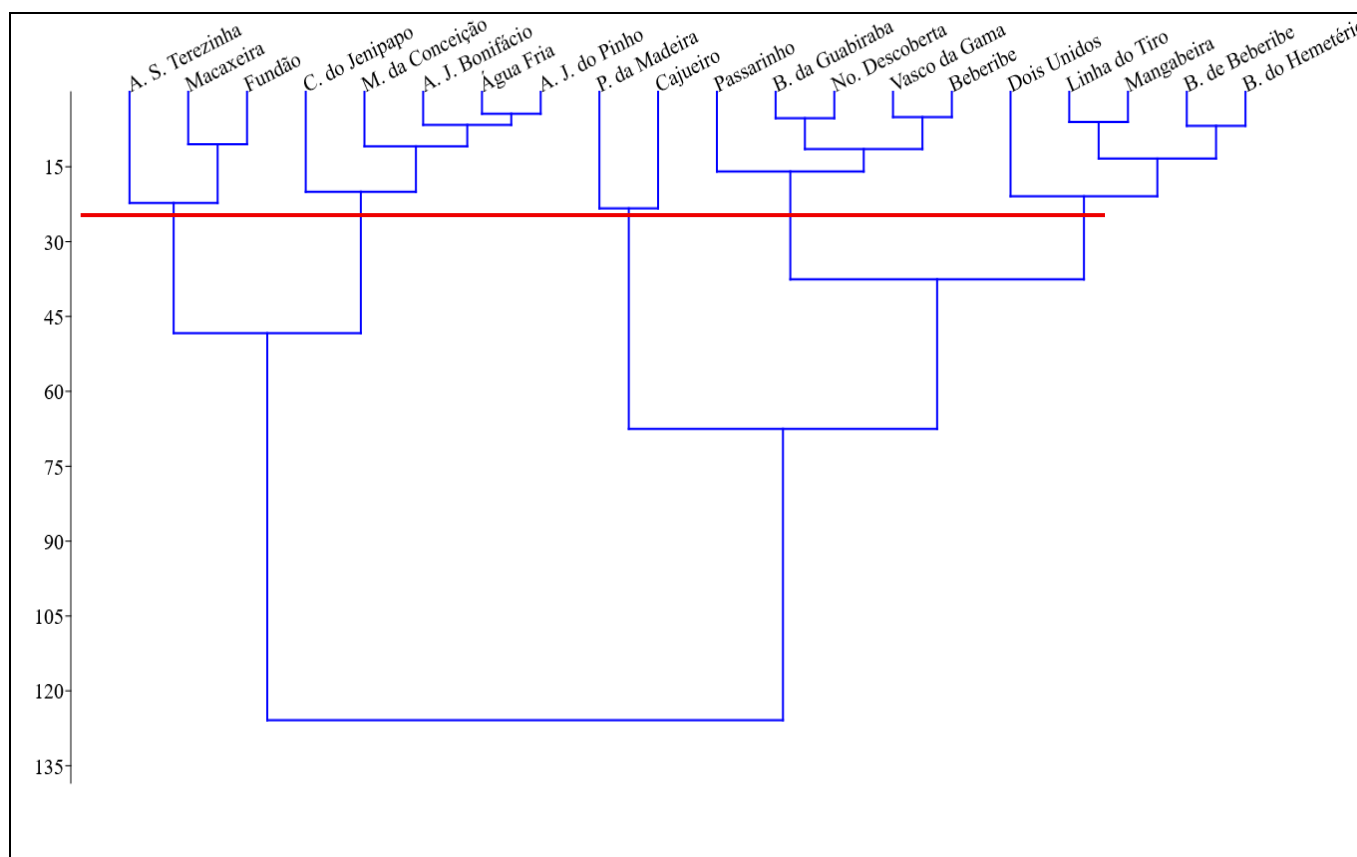
Análise de agrupamentos

Com base nos sete componentes da salubridade ambiental, realizou-se a análise de agrupamentos apresentada na Figura 3. O dendrograma, elaborado a partir dos indicadores IAB, IES, IRS, IDU, IIU, ISE e ISP, permitiu identificar cinco grupos entre os vinte bairros

analisados, reunindo áreas com perfis sanitários, socioeconômicos e infraestruturais semelhantes. O coeficiente de correlação cofenética de 0,7524 indica representação satisfatória das relações de dissimilaridade pela estrutura hierárquica obtida, permitindo utilizar os agrupamentos como instrumento complementar para a interpretação das desigualdades intraurbanas.

A formação dos grupos demonstra que a diferenciação entre os bairros não decorre exclusivamente do valor final do ISA, mas da maneira como distintas deficiências e potencialidades se combinam territorialmente. Porto da Madeira e Cajueiro, por exemplo, apresentam elevada similaridade multivariada e constituem um agrupamento particular, caracterizado por desempenho comparativamente favorável em diversos componentes, sobretudo abastecimento de água, esgotamento sanitário, infraestrutura urbana e condição socioeconômica. Em contrapartida, bairros como Passarinho, Brejo da Guabiraba, Nova Descoberta, Vasco da Gama e Beberibe apresentam combinações mais restritivas entre os indicadores, revelando que valores próximos de salubridade global podem resultar de estruturas sanitárias e urbanas distintas.

Figura 3: Agrupamentos para os valores finais dos componentes do ISA.



Fonte: Os autores (2023).

Esse resultado reforça a necessidade de compreender a salubridade ambiental como uma expressão das desigualdades socioespaciais presentes na Zona Norte do Recife. Como discutido por Maricato (2003), a produção do espaço urbano nas cidades brasileiras é marcada por diferenças históricas no acesso à infraestrutura, aos serviços públicos e às condições ambientais adequadas. Em áreas periféricas e de ocupação consolidada sobre morros e encostas, essa desigualdade tende a se materializar por meio da menor disponibilidade de infraestrutura urbana, do esgotamento sanitário incompleto e da insuficiência dos sistemas de drenagem. Nesse contexto, os agrupamentos identificados não representam apenas similaridades estatísticas entre os bairros, mas revelam territórios nos quais diferentes déficits se sobrepõem e configuram situações distintas de vulnerabilidade socioambiental.

A distribuição desigual de equipamentos e serviços urbanos também contribui para explicar as diferenças observadas entre os grupos. Villaça (2011) destaca que a segregação urbana está relacionada à distribuição diferenciada de investimentos, infraestrutura e oportunidades no espaço intraurbano, aspecto que ajuda a compreender a coexistência de condições sanitárias contrastantes entre bairros relativamente próximos. A insuficiente destinação de efluentes em Dois Unidos, Passarinho e Alto Santa Terezinha constitui fator limitante à salubridade, enquanto a presença de Ecopontos em Macaxeira e Morro da Conceição favorece o manejo de resíduos sólidos. Essas diferenças demonstram que a disponibilidade de serviços e equipamentos específicos pode influenciar de maneira significativa a condição ambiental local e reforçam a necessidade de ampliar a cobertura das ações públicas nos territórios historicamente menos atendidos.

A drenagem urbana constitui outra dimensão particularmente relevante, sobretudo em bairros caracterizados por relevo acidentado e ocupação de encostas. Estudos desenvolvidos no Recife demonstram que a ocupação de áreas de morro por populações socialmente vulneráveis está associada a processos históricos de urbanização desigual e a uma maior exposição a riscos ambientais, especialmente relacionados à instabilidade de encostas e ao escoamento superficial concentrado (Gomes *et al.*, 2012). Nesses espaços, a deficiência da drenagem não deve ser interpretada apenas como insuficiência de dispositivos hidráulicos, uma vez que pode potencializar alagamentos, erosão e movimentos de massa. Dessa forma, intervenções em drenagem devem ser articuladas à manutenção da infraestrutura existente, à ampliação dos sistemas de alerta para eventos pluviométricos e à melhoria das condições de mobilidade e acessibilidade, incluindo pavimentação adequada, implantação de rampas e reforço da segurança em escadarias.

As limitações verificadas no indicador de saúde pública também demonstram que a vulnerabilidade urbana decorre da interação entre diferentes dimensões da infraestrutura e dos serviços públicos. A necessidade de aprimoramento da oferta de equipamentos de saúde em Brejo da Guabiraba, Alto Santa Terezinha, Cajueiro e Fundão revela que os déficits de salubridade não estão restritos ao saneamento propriamente dito, mas abrangem condições mais amplas de atendimento e proteção social. Essa leitura converge com Teixeira *et al.* (2018), ao destacarem que a utilidade do ISA não se restringe ao valor agregado do índice, mas também à identificação dos componentes que mais contribuem para as condições de maior ou menor salubridade. De forma complementar, Maccarini e Henning (2018) ressaltam a capacidade de adaptação do instrumento a diferentes realidades territoriais, o que favorece sua utilização na identificação de desigualdades internas ao espaço urbano.

A análise de agrupamentos amplia, portanto, a interpretação proporcionada pelo ISA ao demonstrar que bairros enquadrados em uma mesma condição geral de salubridade podem apresentar combinações bastante distintas entre seus componentes. Os resultados evidenciam que as vulnerabilidades sanitárias e ambientais se distribuem de forma desigual na Zona Norte do Recife e resultam da sobreposição de déficits de infraestrutura, limitações no acesso aos serviços urbanos e diferentes condições socioeconômicas. Dessa forma, o planejamento das intervenções deve considerar as especificidades de cada conjunto de bairros, priorizando ações territorialmente diferenciadas e integradas, capazes de enfrentar os fatores que condicionam a salubridade ambiental em cada área.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, pode-se concluir que a salubridade ambiental nos bairros da Zona Norte do Recife está diretamente relacionada às condições de desenvolvimento urbano e à distribuição desigual da infraestrutura e dos serviços públicos. Os valores do ISA permaneceram na faixa de média salubridade, variando entre 50,21 e 65,91, o que demonstra que, embora os bairros apresentem uma classificação geral semelhante, persistem diferenças importantes entre as condições sanitárias e ambientais locais. Nesse contexto, Cajueiro apresentou o maior valor do índice, enquanto Passarinho registrou o menor, evidenciando a existência de contrastes territoriais que devem ser considerados na definição de ações de planejamento e gestão.

A análise de agrupamentos complementou os resultados do ISA ao reunir bairros com características semelhantes quanto aos indicadores avaliados, permitindo identificar diferentes padrões de salubridade e vulnerabilidade. Essa abordagem possibilita orientar intervenções de

maneira mais específica, considerando as particularidades de cada grupo e os componentes que mais contribuem para a redução da salubridade. Dessa forma, a identificação de bairros com perfis semelhantes pode favorecer uma distribuição mais adequada dos recursos públicos e a definição de estratégias voltadas ao aprimoramento do saneamento, da drenagem, da infraestrutura urbana e dos demais serviços essenciais.

Os resultados obtidos fornecem, portanto, subsídios relevantes para o planejamento urbano e para a formulação de políticas públicas direcionadas às áreas de maior vulnerabilidade sanitária e socioambiental. As informações produzidas podem contribuir para a atualização e o aperfeiçoamento de instrumentos municipais, como o Plano Diretor, o Plano de Drenagem e o Plano Municipal de Saneamento Básico, auxiliando na definição de áreas prioritárias para investimentos e intervenções. Essa aplicação torna-se especialmente importante em bairros onde diferentes déficits de infraestrutura e serviços ocorrem de forma concomitante, demandando ações integradas e territorialmente direcionadas.

Entretanto, devem ser consideradas as limitações relacionadas à disponibilidade e à escala dos dados utilizados, bem como ao caráter sintético do ISA, que não contempla integralmente todas as particularidades existentes no interior de cada bairro. Nesse sentido, estudos futuros podem incorporar informações em escalas espaciais mais detalhadas, levantamentos de campo e séries temporais que permitam avaliar a evolução das condições de salubridade e das desigualdades entre os bairros. A ampliação dessas análises poderá contribuir para o aprimoramento do próprio índice e para uma compreensão mais abrangente das relações entre saneamento, infraestrutura urbana e vulnerabilidade socioambiental na Zona Norte do Recife.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, T. B.; ARAÚJO, T. P. Recife: desenvolvimento e desigualdade. In: RECIFE (PE). Prefeitura. **Desenvolvimento humano no Recife: Atlas municipal**. Recife: Prefeitura do Recife, 2005. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/406615451/Recife-Desenvolvimento-e-Desigualdade>. Acesso em: 23 out. 2026.
- BERNARDES, C.; BERNARDES, R. S.; GÜNTHER, W. M. R. Proposta de índice de salubridade ambiental domiciliar para comunidades rurais: aspectos conceituais e metodológicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 697-706, jul./ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018141631>.

BRAGA, D. L.; SANTOS, S. L. D. X.; BEZERRA, N. R.; BERNARDINO, T. E. S.; MORAES, L. R. S.; MORAES, V.; PIZA, F. J. T.; TEIXEIRA, D. A.; SCALIZE, P. S. Salubridade ambiental: conceituação e aplicabilidade. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 457-464, maio/jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210294>.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 23 out. 2026.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 8 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 23 out. 2026.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO (COMPESA). **Calendário de abastecimento**. Recife: COMPESA, 2021. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/calendario-de-abastecimento-da-compesa/> Acesso em: 23 out. 2026.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO (COMPESA). **Controle de qualidade**. Recife: COMPESA, 2017. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/controle-de-qualidade/>. Acesso em: 23 out. 2026.

CONSELHO ESTADUAL DE SANEAMENTO (CONESAN). **Indicador de salubridade ambiental (ISA): manual básico**. São Paulo: CONESAN; SABESP, 1999.

FIRMANSYAH, I.; CARSJENS, G. J.; RUIJTER, F. J.; ZEEMAN, G.; SPILLER, M. An integrated assessment of environmental, economic, social and technological parameters of source separated and conventional sanitation concepts: a contribution to sustainability analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 295, art. 113131, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113131>.

GAMA, J. A. S. **Índice de salubridade ambiental em Maceió aplicado à bacia hidrográfica do riacho Reginaldo em Maceió/AL**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5183>. Acesso em: 23 out. 2026.

GOMES, J. H.; SILVA, T. L. V.; GUERRA, E. R.; ANASTACIO, D. T. D. Ocupação em área de risco de deslizamentos no Córrego do Jenipapo, Recife, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 3, p. 524-539, 2012. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i3.232849>.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, art. 4, 9 p., 2001. Disponível em: https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm. Acesso em: 23 out. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 2010: Recife**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html>. Acesso em: 23 out. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Dados agregados por setores censitários: Pernambuco**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010b. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Sinopse/. Acesso em: 23 out. 2026.

KOUASSI, H. A. A.; ANDRIANISA, H. A.; TRAORÉ, M. B.; SOSSOU, S. K.; NGUEMATIO, R. M.; YMÉLÉ, S. S. S.; AHOSSOUHE, M. S. Review of the slippage factors from open defecation-free (ODF) status towards open defecation (OD) after the Community-Led Total Sanitation (CLTS) approach implementation. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 250, art. 114160, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2023.114160>.

LIMA, S. M. S. A.; LOPES, W. G. R.; FAÇANHA, A. C. Desafios do planejamento urbano na expansão das cidades: entre planos e realidade. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, e20180037, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180037>.

MACCARINI, M. B.; HENNING, E. Indicadores de salubridade ambiental: uma análise sistemática. **Scientia cum Industria**, v. 6, n. 3, p. 44-49, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18226/23185279.v6iss3p44>.

MACIEL, S.; CRESPO, J. Formation, dynamics and urban configuration of the metropolis of Recife. In: **Research tracks in urbanism: dynamics, planning and design in contemporary urban territories**. Boca Raton: CRC Press, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003220855-15>.

MARICATO, E. MetrÓpole, legislação e desigualdade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 17, n. 48, p. 151-166, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142003000200013>.

MASSA, K. H. C.; CHIAVEGATTO FILHO, A. D. P. Saneamento básico e saúde autoavaliada nas capitais brasileiras: uma análise multinível. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 23, e200050, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-549720200050>.

PEIXOTO, F. S.; FELIX NETO, J. M.; GOMES, I. N.; DIAS, G. H. Índice de saneamento ambiental da área urbana do município de Mossoró – RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 6, p. 2130-2139, 2018. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.6.p2130-2139>.

PINTO, L. P.; CABRAL, A. C.; PERISSATO, S. M.; AZEVEDO, K. D.; FRIGO, J. P.; FRIGO, E. P. Salubridade ambiental do município de São Pedro do Iguaçu – PR. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p. 55-64, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5380/rber.v3i1.36916>.

RECIFE (PE). Prefeitura. **Alerta de chuva via SMS**. Recife: Prefeitura do Recife, 2021. Disponível em: <https://www2.recife.pe.gov.br/servico/alerta-de-chuva-sms>. Acesso em: 23 out. 2026.

RECIFE (PE). Prefeitura. Secretaria de Saúde. **Casos de dengue, zika e chikungunya em 2020**. Recife: Prefeitura do Recife, 2020. Disponível em: <https://dados.recife.pe.gov.br/dataset/casos-de-dengue-zika-e-chikungunya>. Acesso em: 23 out. 2026.

RECIFE (PE). Prefeitura. Secretaria de Saúde. **Unidades básicas de saúde**. Recife: Prefeitura do Recife, 2019. Disponível em: <https://dados.recife.pe.gov.br/dataset/unidades-basica-de-saude>. Acesso em: 23 out. 2026.

RAUPP, L.; CUNHA, G. M.; FÁVARO, T. R.; SANTOS, R. V. Saneamento básico e desigualdades de cor/raça em domicílios urbanos com a presença de crianças menores de 5 anos, com foco na população indígena. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, supl. 3, e00058518, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00058518>.

SANTOS, E. F. N.; SOUSA, I. F. Análise estatística multivariada da precipitação do estado de Sergipe através dos fatores e agrupamentos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.58267>.

SCOLARI, T. W.; MEDEIROS, R. C.; PASSINI, A. F. C. Aplicação do indicador de salubridade ambiental no município de Jaboticaba/RS. **Caderno de Geografia**, v. 33, n. 72, p. 202-225, jan./mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2023v33n72p202>.

SILVA, N. V. S. **As condições de salubridade ambiental das comunidades periurbanas da bacia do Baixo Gramame: diagnóstico e proposição de benefícios**. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006. Disponível em: <https://livrozilla.com/doc/932757/disserta%C3%A7%C3%A3o-nayra-vicente---%C3%A1rea-de-engenharia-de-recursos>. Acesso em: 23 out. 2026.

SOUZA, A.; FERNANDES, W. A.; ALBREZ, E. A.; GALVÍNCIO, J. D. Análise de agrupamento da precipitação e da temperatura no Mato Grosso do Sul. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 6, n.12, p. 109-124, maio/ago. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5654/actageo2012.0612.0006>. Disponível em: <https://revista.ufrb.br/actageo/article/download/782/766/3334>. Acesso em: 23 out. 2026.

STANGANINI, F. N.; LOLLO, J. A. O crescimento da área urbana da cidade de São Carlos/SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação ambiental. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, supl. 1, p. 118-128, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.SUPL1.AO14>.

TEIXEIRA, D. A.; PRADO FILHO, J. F.; SANTIAGO, A. F. Indicador de salubridade ambiental: variações da formulação e usos do indicador no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n. 3, p. 543-556, maio/jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018170866>.

TEIXEIRA, S. F.; MELO, G. V.; LUZ, G. C. B.; CAMPOS, S. S. Coleta e tratamento de esgoto dos municípios de grande porte da Região Metropolitana do Recife: ameaça à saúde pública. **Brazilian Journal of Health Review**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 4391-4400, mar./abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.34119/bjhrv4n2-033>.

VILLAÇA, F. São Paulo: segregação urbana e desigualdade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 25, n. 71, p. 37-58, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142011000100004>.

YUAN, C.; YANG, H. Research on K-value selection method of K-means clustering algorithm. **J**, v. 2, n. 2, p. 226-235, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/j2020016>.

ZANCUL, J. D. S. Direitos humanos à água e ao saneamento e a política de saneamento básico no Brasil. **Cadernos Ibero-Americanos de Direito Sanitário**, Brasília, DF, v. 4, n. 2, p.23-46, abr./jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.17566/ciads.v4i2.151>.

Artigo recebido em: 10/06/2025

Artigo aceito em: 08/10/2026