

APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE SAÚDE, SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Karoline Borges - k257690@dac.unicamp.br
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Faculdade de Tecnologias
R. Paschoal Marmo, 1888 - Jardim Nova Itália
CEP: 13484-332 - Limeira – SP

Cassiana Maria Reganhan Coneglian - cassiana@unicamp.br
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Faculdade de Tecnologias

Elaine Cristina Catapani Poletti – elainec@unicamp.br
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Faculdade de Tecnologias

Resumo: A universalização do acesso aos serviços de saneamento básico é um objetivo global crucial, cuja falta ou ineficiência tem impactos profundos na saúde pública e no meio ambiente. No entanto, o monitoramento e a gestão eficazes dos indicadores sanitários, de saúde pública e ambientais representam desafios complexos, dada a necessidade de integração desses múltiplos aspectos. Nesse contexto, a Lógica Fuzzy tem se destacado como uma ferramenta promissora para facilitar essa integração de forma mais precisa e eficiente. O presente estudo realizou uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de investigar a aplicação da Lógica Fuzzy na análise de indicadores sanitários, de saúde e ambientais, com foco na sistematização dos métodos e softwares utilizados. Para isso, a revisão seguiu as diretrizes PRISMA, com adaptações, e abrangeu estudos publicados entre 2019 e 2023 nas bases PubMed, Scielo, Science Direct e Web of Science. A análise evidenciou o uso extensivo da Lógica Fuzzy na integração desses indicadores, sendo o Matlab o software mais frequentemente empregado, com o método de inferência Mamdani se destacando entre as abordagens utilizadas.

Palavras-chave: Lógica Fuzzy, Saneamento; Saúde pública; Qualidade ambiental



APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN THE EVALUATION OF HEALTH, SANITATION, AND ENVIRONMENTAL INDICATORS: A SYSTEMATIC REVIEW

Abstract: *The universalization of access to basic sanitation services is a crucial global goal, whose absence or inefficiency has significant impacts on public health and the environment. However, effectively monitoring and managing sanitation, public health, and environmental indicators presents complex challenges due to the need to integrate these multiple aspects. In this context, Fuzzy logic has emerged as a promising tool to facilitate this integration more accurately and efficiently. This study conducted a systematic literature review to explore the application of Fuzzy logic in the analysis of sanitation, health, and environmental indicators, focusing on the systematization of the methods and software used. To achieve this, the review followed the PRISMA guidelines and covered studies published between 2019 and 2023 from the PubMed, Scielo, Science Direct, and Web of Science databases. The analysis highlighted the extensive use of Fuzzy logic in integrating these indicators, with Matlab being the most frequently employed software, and the Mamdani inference method standing out among the approaches used.*

Keywords: *Fuzzy logic; Sanitation; Public health; Environmental quality*

1. INTRODUÇÃO

Os serviços de saneamento básico desempenham um papel fundamental na promoção da saúde ambiental, contribuindo significativamente para a redução da disseminação de doenças infecciosas e para a melhoria da qualidade de vida das comunidades. Esses serviços estão intimamente ligados à preservação ambiental e à sustentabilidade, protegendo os recursos naturais e mitigando impactos negativos. O acesso universal à água potável, coleta e tratamento de esgoto, gestão de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais é um direito humano básico, reconhecido internacionalmente (IBGE, 2021; WHO/UNICEF, 2023).

Entretanto, a universalização desses serviços permanece um desafio tanto no Brasil quanto em nível global. Segundo o relatório "Progresso em Água Potável, Saneamento e Higiene na América Latina e Caribe" (2000-2020), aproximadamente 19% da população urbana ainda não tem acesso a água potável com gerenciamento seguro, e cerca de 40% carecem de serviços de saneamento adequado (WHO/UNICEF, 2023). Em áreas rurais, quase 47% da população não dispõe de acesso à água potável gerida de forma segura, e a ausência de dados dificulta a estimativa precisa da cobertura nessas regiões.

No Brasil, dados de 2021 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) revelam que 84,2% da população é atendida por redes de abastecimento de água potável, 55,8% possuem acesso a redes de esgotamento sanitário, 89,9% contam com coleta domiciliar de resíduos sólidos, e apenas 17% dos municípios possuem sistemas de drenagem de águas pluviais (SNIS, 2021).

A ausência ou ineficiência dessas infraestruturas acarreta impactos significativos no meio ambiente e na saúde pública, uma vez que a contaminação do solo, da água e do ar facilita a disseminação de doenças relacionadas ao saneamento inadequado (DRSAI), como dengue, chikungunya, cólera, esquistossomose, hepatite A, febre amarela, leishmaniose, malária, entre outras (IBGE, 2021; PIMENTEL et al., 2020).

Diante dessa realidade, torna-se urgente a implementação de medidas para melhorar o acesso ao saneamento adequado, em especial em áreas mais vulneráveis (PIMENTEL et al., 2020). A modelagem matemática surge como uma ferramenta promissora para auxiliar na gestão municipal, fornecendo subsídios para decisões informadas e para a formulação de políticas públicas focadas na proteção ambiental. Trabalhos como os de Feng et al. (2022), Roveda et al. (2010) e Zhang et al. (2022) demonstram a utilização da modelagem Fuzzy para criar índices ambientais que orientam essas políticas.



A Lógica *Fuzzy*, ou lógica difusa, é uma técnica que permite a representação de verdades de forma parcial, baseada na teoria dos conjuntos *Fuzzy*, expandindo a lógica booleana tradicional (ROVEDA et al., 2010; ZADEH, 1965). Especificamente, os Sistemas Baseados em Regras *Fuzzy* (SBRF) têm sido utilizados para modelar matematicamente diferentes situações e resolver problemas específicos em diversos contextos.

A hipótese deste estudo é que a modelagem baseada em lógica *Fuzzy* pode desempenhar um papel relevante na gestão da saúde ambiental em municípios, integrando indicadores ambientais, de saúde pública e de saneamento. Isso poderá fornecer subsídios valiosos para a formulação de políticas públicas mais eficientes, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 3 e 6, que visam promover a saúde e bem-estar, e garantir acesso universal à água potável e ao saneamento básico (SACHS et al., 2024).

O objetivo deste artigo é realizar uma revisão sistemática da literatura para responder à pergunta: "Como a Lógica *Fuzzy* tem sido aplicada na análise de indicadores sanitários, de saúde e ambientais, e quais métodos e softwares têm sido utilizados?" Para isso, os seguintes questionamentos orientam a pesquisa:

- Quais indicadores sanitários, de saúde e ambientais foram empregados?
- Como a Lógica *Fuzzy* foi sistematizada, incluindo os softwares e métodos utilizados?
- Como os resultados gerados foram apresentados e analisados?

A metodologia PRISMA foi adotada para a identificação de estudos nas bases de dados PubMed, Scielo, Science Direct e Web of Science, seguida de uma análise quali-quantitativa dos artigos selecionados.

2. METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido a partir de uma revisão sistemática da literatura (RSL) seguindo as diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). A pesquisa foi realizada nas bases de dados *PubMed*, *Scielo*, *Science Direct* e *Web of Science*, resultando inicialmente em 3.393 publicações, sem restrições de período. Posteriormente, aplicou-se um filtro temporal, limitando o período de publicação entre 2019 e 2023, o que reduziu o número de resultados para 1.983 publicações (Tabela 1).

Tabela 1 - Comando de Buscas para Prisma

Bases de Dados	Comando de Busca	Quantidade
Pubmed	((((water and sanitation and hygiene) OR (sanitation)) AND (logic fuzzy)) AND (health)	30
Scielo.org	(water and sanitation and hygiene) OR (sanitation) AND (logic fuzzy) AND (health)	1
Science Direct	((water and sanitation and hygiene) OR (sanitation)) AND (logic fuzzy) AND (health)	437
Web of Science	water and sanitation and hygiene OR sanitation AND logic fuzzy AND health	1515
Total		1983

Posteriormente, foram excluídas da análise as publicações que apresentavam as seguintes características:

- Artigos em duplicidade;
- Publicações que não eram artigos em jornais ou periódicos;
- Estudos relacionados à COVID-19 e dengue;
- Estudos que não se aplicavam ao setor de água, saneamento e higiene;
- Estudos relacionados ao tratamento ou qualidade da água e efluentes, incluindo

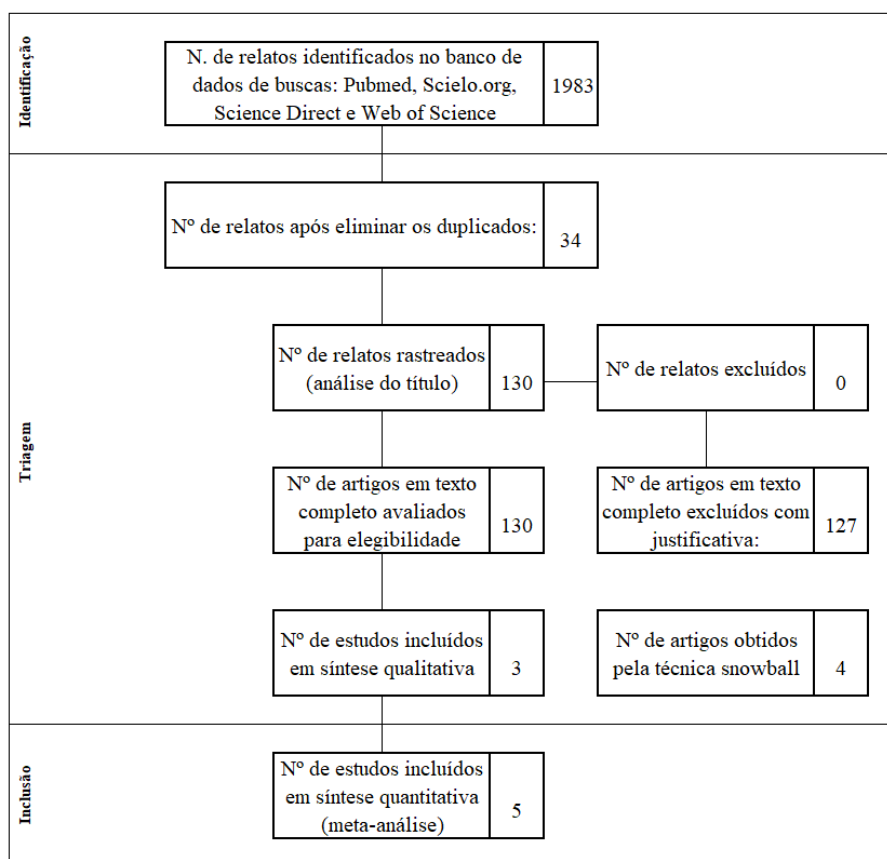
processos, tecnologias e eficiência de remoção de matéria orgânica ou poluentes;



- Estudos sobre a hidrologia física de recursos hídricos, incluindo água potável, águas residuais e águas não consumíveis; e
- Estudos relacionados à gestão de água, terra e outros recursos naturais para usos não consuntivos, como irrigação, fluxo em riachos ou energia hidrelétrica.

Após essa seleção, foram retidos quatro artigos para análise qualitativa. Adicionalmente, três artigos foram incluídos utilizando a metodologia *snowball*, totalizando cinco artigos selecionados para a análise qualitativa, a fim de estruturar a revisão literária deste trabalho (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma da Revisão Sistemática Utilizando os Métodos PRISMA e *Snowball*



Os cinco artigos selecionados para análise qualitativa foram devidamente catalogados em uma planilha eletrônica (Material Complementar), a fim de facilitar o gerenciamento das referências bibliográficas durante o desenvolvimento da pesquisa e a leitura completa dos textos. Nas próximas seções, apresentaremos os resultados obtidos na RSL, considerando as questões que motivaram este estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item, serão apresentados e detalhados os resultados obtidos pela busca realizada de acordo com a metodologia PRISMA. Os resultados serão organizados em função dos questionamentos que nortearam a pesquisa: quais indicadores sanitários, de saúde e ambientais foram utilizados; como a Lógica Fuzzy foi sistematizada, incluindo os softwares e métodos empregados; e de que maneira os resultados gerados foram apresentados e analisados.



3.1. Indicadores de saúde pública, saneamento e ambiental

A saúde pública tem como objetivo promover o bem-estar e abordar questões relacionadas à prevenção e tratamento de doenças, considerando fatores como óbitos, enfermidades, agravos e riscos que afetam a sociedade como um todo (BRASIL, 2011; RIBEIRO, 2004). Esse campo abrange diversas subáreas de conhecimento e prática, resultando em uma notável diversidade e relevância.

Dentre essas subáreas, destaca-se a saúde ambiental, que envolve todos os componentes relacionados à saúde humana e à qualidade de vida, influenciados por fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e psicológicos presentes no ambiente (BRASIL, 2011). Além disso, refere-se à teoria e prática de avaliar, corrigir, controlar e prevenir elementos ambientais que possam representar potenciais riscos à saúde das gerações presentes e futuras (RIBEIRO, 2004).

Essa área concentra-se nas interações entre os seres vivos, substâncias e condições que envolvem os seres humanos e podem afetar sua saúde e bem-estar (BRASIL, 2011). Segundo Ribeiro (2004), a saúde ambiental é um campo desafiador que visa prevenir e monitorar os impactos das mudanças ambientais na saúde humana. Isso envolve a criação de sistemas de monitoramento e vigilância, bem como a coleta e análise sistemática de dados para desenvolver indicadores que evidenciem essa relação (BRASIL, 2011; RIBEIRO, 2004). No entanto, a realização desse monitoramento e análise é uma tarefa complexa e representa um grande desafio para pesquisadores e gestores públicos (ST FLOUR & BOKHOREE, 2022).

Os indicadores observados na revisão sistemática de literatura (RSL) foram sistematizados no Material Complementar. Contudo, uma versão resumida desses indicadores será apresentada na Tabela 2, seguida de uma discussão dos principais resultados identificados.



Tabela 2 - Resumo dos principais indicadores identificados na RSL

Item	Autores	Quais indicadores de saúde pública?	Quais indicadores de saneamento?	Quais indicadores ambientais?	Outros indicadores?
1	St Flour et al. (2022)	Taxa de mortalidade por doenças respiratórias	Abastecimento de água, tratamento de esgoto e manejo de resíduos.	Consumo de recursos naturais não renováveis, consumo de energia renovável, áreas verdes e de proteção ambiental.	NA
2	Godfrey et al. 2022	NA	Dados do WASH - Water (água), Sanitation (saneamento) e Hygiene (higiene)	NA	NA
3	Daniel Canavese et al. (2014)	Saúde: Média de mortalidade infantil e Taxas anuais de mortalidade para causas selecionadas	Cobertura de abastecimento de água, produção e tratamento de resíduos, coleta de resíduos e coleta e tratamento de esgoto.	Qualidade das águas e poluição atmosférica	Demografia, densidade populacional e despesas públicas na área ambiental
4	Canavese & Ortega (2013)	Taxa de mortalidade infantil, Taxa de mortalidade de 1 a 4 anos devido a infecções agudas do trato respiratório, Taxa de mortalidade por diarreia aguda para todas as idades	Cobertura de coleta de lixo, Cobertura de esgoto, Cobertura da rede de abastecimento de água	NA	NA
5	Roveda et al. (2010)	NA	Abastecimento público, coleta e tratamento de esgoto doméstico, coleta seletiva e coleta de resíduos sólidos urbanos.	Qualidade do ar urbano, preservação da vegetação e projetos de educação ambiental .	NA

Observa-se que, entre os trabalhos analisados, apenas os publicados por Canavese e Ortega (2013) e Canavese et al. (2014) a bordaram indicadores de saúde, incluindo a taxa de mortalidade infantil, a taxa de mortalidade de crianças de 1 a 4 anos devido a infecções agudas do trato respiratório



e a taxa de mortalidade por diarreia aguda para todas as idades. No que diz respeito aos indicadores de saneamento, foram considerados a cobertura da coleta de lixo, a cobertura de esgoto e a cobertura da rede de abastecimento de água. Os autores correlacionaram esses indicadores com dados sobre poluição do ar, além de características demográficas e econômicas. A partir do modelo linguístico, foi desenvolvido um índice de saúde ambiental para o Brasil (CANAVESE e ORTEGA, 2013) e Portugal (CANAVESE et al., 2014).

Por outro lado, no estudo de St Flour e Bokhoree (2022) o parâmetro utilizado como indicador de saúde foi a taxa de mortalidade por doenças respiratórias. Os indicadores relacionados ao saneamento incluíram o abastecimento de água para atividades econômicas, a gestão de resíduos sólidos, a quantidade de resíduos sólidos descartados em aterros, o consumo doméstico de água, a captação de água doce e as estações de tratamento de águas residuais. Neste trabalho, o objetivo foi desenvolver uma ferramenta de modelagem quantitativa para medir o desempenho de sustentabilidade em pequenos estados insulares, considerando as três esferas da sustentabilidade: ambiental, econômica e social de forma integrada (ST FLOUR e BOKHOREE, 2022).

Em todos os trabalhos citados, a seleção dos indicadores para compor o modelo *Fuzzy* foi realizada pelos pesquisadores em colaboração com gestores públicos experientes nas temáticas abordadas. A escolha dos indicadores, utilizados como variáveis linguísticas no modelo *Fuzzy*, é uma etapa crucial do estudo, fundamentada em revisões bibliográficas e nas características específicas das áreas em análise. Além disso, foram levadas em consideração a disponibilidade e a acessibilidade dos indicadores nas plataformas governamentais, assegurando a obtenção de dados confiáveis para a análise.

3.2. Lógica Fuzzy

Em 1965, o Dr. Lofti Zadeh introduziu Lógica *Fuzzy* como uma extensão da lógica booleana visando expressar o conceito de verdade parcial (ROVEDA et al., 2010; ZADEH, 1965). Essa extensão é amplamente aplicada em diversas áreas, desde engenharia até inteligência artificial. Ela permite a atribuição de valores difusos no intervalo de 0 a 1, permitindo a representação de valores entre o verdadeiro e o falso (ZADEH, 1965). A Lógica *Fuzzy* desempenha um papel importante devido à sua capacidade de lidar com a complexidade e ambiguidade do mundo em que vivemos, onde fatos absolutamente verdadeiros ou falsos são raros.

Uma das vantagens atraentes dessa técnica é sua habilidade de imitar o comportamento baseado em regras derivadas da experiência de especialistas, em contraste com a abordagem restrita a modelos matemáticos de equações diferenciais (CANAVESE; ORTEGA, 2013; GODFREY et al., 2022; ZADEH, 1965). Essa abordagem baseada em regras experienciais oferece maior flexibilidade e adaptabilidade, tornando-se uma ferramenta valiosa em vários domínios de aplicação.

Devido a essa característica, a Lógica *Fuzzy* tem sido amplamente aceita e utilizada em diferentes aplicações em estudos ambientais, incluindo parâmetros de qualidade da água, do ar, do solo, epidemias e saúde (CANAVESE; ORTEGA; QUEIRÓS, 2014; GODFREY et al., 2022; ST FLOUR; BOKHOREE, 2022).

Para aplicar a Lógica *Fuzzy*, os modelos são geralmente estruturados em quatro componentes principais (CANAVESE; ORTEGA, 2013): um módulo de fuzzificação, que traduz variáveis clássicas em valores linguísticos *Fuzzy*; uma base de regras "se-então", que consiste em um conjunto de proposições condicionais difusas; um método de inferência, que utiliza um mecanismo de raciocínio aproximado para obter as saídas do sistema; e quando necessário, um método de defuzzificação, que converte a saída *Fuzzy* do sistema em um número clássico que melhor a representa. Para o processamento desse modelo linguístico faz-se necessário *software* específico.

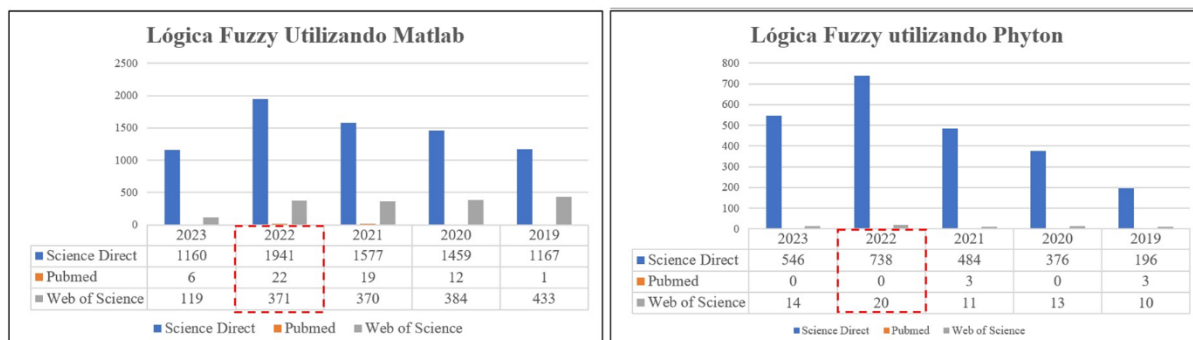
Foram realizadas duas buscas nos bases de dados *Science Direct*, *PubMed*, *Web of Science* e *Scielo* abrangeu o período de 2019 a 2023 para identificar qual *software* é mais utilizado para modelagem via *Fuzzy Logic*. Sendo que, a primeira busca utilizando as *strings* "Fuzzy Logic" e "Matlab" e na segunda busca, as *strings* utilizadas foram "Fuzzy Logic" e "Python".

Foram encontradas um total de 9041 publicações que citaram o *Matlab* e 2414 publicações que citaram *Python*. O ano de 2022 registrou o maior número de publicações para ambos os *softwares*,



com 4356 publicações para *Matlab* e 758 publicações para *Python* (Figura 2). Observou-se que a *Science Direct* possui o maior número de trabalhos utilizando esses *softwares*. É importante ressaltar que nenhuma publicação foi encontrada no sistema de base de dados da *SciELO* durante o período em questão.

Figura 2 - Comparação entre quantitativo de trabalhos utilizando Matlab e Python



Observa-se que a uma tendência a utilizar o software *Python*, porém ainda prevalece a utilização do *Matlab* para modelagem linguística via *Lógica Fuzzy*, inclusive nos artigos analisados qualitativamente após a busca PRISMA (CANAVESE; ORTEGA, 2013; CANAVESE; ORTEGA; QUEIRÓS, 2014; GODFREY et al., 2022; ROVEDA et al., 2010; ST FLOUR e BOKHOREE, 2022). Nesses artigos, observou-se que o método de inferência Mamdani é amplamente utilizado. Além disso, a defuzzificação com o método centroide é comumente empregada.

O sistema de inferência de Mamdani é composto por cinco elementos principais: a interface de fuzzificação, a base de regras, o mecanismo de inferência, a base de dados e a interface de defuzzificação (MAMDANI; ASSILIAN, 1975). Nesse método, os consequentes das regras são representados por termos linguísticos, os quais são definidos durante a modelagem do sistema com base no conhecimento de especialistas do domínio do problema (CANAVESE; ORTEGA, 2013; MAMDANI; ASSILIAN, 1975). Essas características tornam o modelo de Mamdani especialmente adequado para problemas de tomada de decisão.

O método do centroide utiliza o cálculo do consequente, que pode variar conforme a natureza dos valores que ele pode assumir, sejam eles discretos ou contínuos (CANAVESE e ORTEGA, 2013; MAMDANI; ASSILIAN, 1975; ST FLOUR e BOKHOREE, 2022). Os mesmos autores afirmam que, no caso de possibilidades discretas, o cálculo de média ponderada considera os graus de pertinência para a distribuição de possibilidades de saída do modelo.

3.3. Representações dos resultados obtidos pela modelagem linguística

Após a análise qualitativa dos artigos da revisão sistemática de literatura (RSL), observou-se que os dados gerados pela *Lógica Fuzzy* podem ser representados de diversas maneiras, incluindo tabelas, gráficos e mapas. Alguns estudos, como os de Roveda et al. (2010) e ST Flour e Bokhoree (2022), optaram por utilizar apenas tabelas para apresentar os valores de saída do sistema *Fuzzy*. Em contrapartida, outros estudos, como os de Canavese e Ortega (2013), Canavese et al. (2014) e Paula et al. (2019), adotaram uma abordagem mais diversificada, empregando gráficos de dispersão para correlacionar os indicadores estudados, gráficos de superfície e mapas com escalas de cores para exibir os escores e a categorização das variáveis do sistema *Fuzzy*.

Destaca-se o trabalho de Canavese et al. (2014), que não apenas apresentou representações gráficas dos indicadores analisados, mas também realizou análises dos coeficientes de correlação dos dados obtidos. Outro ponto positivo desses autores foi a correlação dos resultados com indicadores relevantes, como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o Índice Sintético de Qualidade de Vida (ISQV). Além disso, Canavese e Ortega (2013) correlacionaram os dados obtidos por meio da



Lógica *Fuzzy* com o IDH, o PIB per capita, o PIB em relação às despesas com saúde, e as despesas públicas destinadas à proteção ambiental, considerando também estados com pelo menos um conselho ambiental organizado.

Entretanto, é evidente que outros estudos apresentam uma abordagem limitada em relação à correlação e à discussão dos resultados obtidos, como destacado por ST Flour e Bokhoree (2022) e Valcourt et al. (2020). Os autores enfatizam a escassez de trabalhos que estabelecem uma conexão entre os aspectos técnicos, financeiros e ambientais da sustentabilidade dos serviços de WASH. Além disso, a omissão de diversos métodos analíticos e a falta de relatos sobre os impactos nos estudos incluídos sugerem que a abordagem atual pode estar negligenciando uma dimensão essencial das estratégias para o setor de Água, Saneamento e Higiene (WASH).

Essa versão melhora a clareza, a coesão e a formalidade do texto, tornando-o mais adequado para um contexto acadêmico.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidencia a aplicação da Lógica *Fuzzy* na análise integrada de indicadores sanitários, de saúde e ambientais, ressaltando a importância da seleção criteriosa dos indicadores utilizados como variáveis linguísticas. Nos artigos analisados, verificou-se que essa seleção foi realizada em colaboração com gestores públicos experientes e fundamentada em pesquisas bibliográficas, levando em conta as características específicas das áreas em estudo. Ademais, a disponibilidade e acessibilidade dos indicadores nas plataformas governamentais garantiram a obtenção de dados confiáveis para a construção dos modelos *Fuzzy*.

Em relação à aplicação da Lógica *Fuzzy*, observou-se que o método de inferência Mamdani e o método de defuzzificação pelo centroide são amplamente adotados, com predominância do uso do software Matlab. Os resultados gerados pela modelagem *Fuzzy* foram apresentados de várias maneiras, como tabelas, gráficos e mapas, facilitando a interpretação e visualização das análises. Além disso, em alguns dos trabalhos analisados, os resultados foram correlacionados com dados socioeconômicos, como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o Índice Sintético de Qualidade de Vida (ISQV), proporcionando uma compreensão mais abrangente das inter-relações entre os indicadores estudados e as condições de vida das populações.

Por fim, constata-se que a Lógica *Fuzzy* possui um grande potencial para apoiar análises governamentais e a tomada de decisões nos serviços de infraestrutura de saneamento e saúde, além de embasar a criação e reformulação de políticas públicas voltadas à saúde ambiental e à saúde pública.

Material Complementar

[Tabela resumo da RSL.](#)

Agradecimentos

Ao apoio da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia – PPGT da Unicamp. E a Unifesspa por ter concedido o afastamento para capacitação a nível de doutorado da servidora e autora Karoline Borges.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Saúde ambiental : guia básico para construção de indicadores**. Brasília: [s.n.].

CANAVESE, D.; ORTEGA, N. R. S. A proposal of a fuzzy rule-based system for the analysis of health and health environments in Brazil. **Ecological Indicators**, v. 34, p. 7–14, 2013.

CANAVESE, D.; ORTEGA, N. R. S.; QUEIRÓS, M. The assessment of local sustainability using fuzzy logic: An expert opinion system to evaluate environmental sanitation in the Algarve region, Portugal. **Ecological Indicators**, v. 36, p. 711–718, 2014.



FENG, J. et al. Establishment of an indicator framework for global One Health Intrinsic Drivers index based on the grounded theory and fuzzy analytical hierarchy-entropy weight method. **Infectious Diseases of Poverty**, v. 11, n. 1, p. 121, 2022.

GODFREY, S. et al. Validation of the Sustainable Development Goal 6 Monitoring Structures across East and Southern Africa Using Fuzzy Logic Analysis. **Water**, v. 14, n. 19, p. 3065, 2022.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Atlas de saneamento: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_saneamento/#/home>.

MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 7, n. 1, p. 1–13, jan. 1975.

PAULA, D. L. M. DE et al. Saneamento nas embarcações fluviais de passageiros na Amazônia: uma análise de risco ao meio ambiente e à saúde por meio da lógica fuzzy. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 283–294, 2019.

PIMENTEL, J. M. F. et al. Internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento básico inadequado na Bahia, de 2010 a 2016. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 4, p. 7945–7957, 2020.

RIBEIRO, H. Saúde Pública e meio ambiente: evolução do conhecimento e da prática, alguns aspectos éticos. **Saúde e Sociedade**, v. 13, n. 1, p. 70–80, 2004.

ROVEDA, J. A. F. et al. **Fuzzy environmental quality index**. International Conference on Fuzzy Systems. **Anais...IEEE**, 2010. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5584160/>>

SACHS, J. D. et al. **Sustainable Development Report 2024: The SDGs and the UN Summit of the Future**. Dublin: [s.n.].

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES DE SANEAMENTO - SNIS. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2020**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/residuos-solidos-1/2020>>. Acesso em: 27 ago. 2024.

ST FLOUR, P. O.; BOKHOREE, C. A fuzzy based sustainability assessment tool for small island states. **Current Research in Environmental Sustainability**, v. 4, p. 100123, 2022.

VALCOURT, N. et al. System Approaches to Water, Sanitation, and Hygiene: A Systematic Literature Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 3, p. 702, 2020.

WHO/UNICEF. **Progress on WASH in Health Care Facilities 2000-2021 : Special Focus on WASH and Infection Prevention and Control**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789240058699>>.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.

ZHANG, X.-X. et al. Towards a global One Health index: a potential assessment tool for One Health performance. **Infectious Diseases of Poverty**, v. 11, n. 1, p. 57, 2022.

