

UM CAMPO A SER EXPLORADO: A LACUNA NA LITERATURA SOBRE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E GESTÃO EDUCACIONAL DE RESÍDUOS

Guilherme Ferreira¹, Débora da Silveira Siqueira², Rejane Frozza³, Liane Mählmann Kipper⁴, Janine Koepp⁵, Alexandre Rieger⁶

Recebido: abril/2024 - Aprovado: fevereiro/2025

RESUMO: A gestão eficiente de Resíduos de Sistemas de Saúde (RSS) é um componente crítico para o funcionamento sustentável das instituições de saúde, proteção do meio ambiente e qualidade da saúde pública. A Inteligência Artificial (IA) tem sido amplamente aplicada em várias facetas do setor de saúde, mas sua integração na educação e gestão de RSS permanece substancialmente inexplorada. Este artigo destaca uma lacuna significativa na literatura científica utilizando a IA como ferramenta educacional no ensino de práticas de descarte de resíduos hospitalares. Uma análise qualitativa foi realizada a partir de artigos advindos de bases de dados científicas. Os resultados indicam que, apesar da crescente necessidade de soluções inovadoras para a educação em sustentabilidade no contexto de saúde, apenas 0,005% dos estudos encontrados têm se dedicado a explorar a IA para melhorar o contexto de práticas de descarte de resíduos. Este trabalho discute potenciais razões para essa omissão e sugere direções futuras, como o desenvolvimento de uma plataforma digital que integra um agente conversacional, baseado em IA com interação por linguagem natural escrita e por voz, e elementos de gamificação, como jogos e premiações, promovendo educação prática e interativa no manejo de resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: inteligência artificial, resíduo de sistema de saúde, gerenciamento de resíduos, educação em saúde ambiental, sustentabilidade.

- 1 <https://orcid.org/0009-0002-0523-2364> - Bacharel em Ciência da Computação (UNISC). Estudante de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Av. Independência 2293, Bairro Universitário, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. E-mail: guilhermeferreira@mx2.unisc.br.
- 2 <https://orcid.org/0000-0002-4530-9808> - Enfermeira (UNISC). Estudante de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Promoção da Saúde (UNISC) Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Av. Independência 2293, Bairro Universitário, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. E-mail: deborasiqueira@mx2.unisc.br.
- 3 <https://orcid.org/0000-0002-3415-0870> - Doutora em Ciência da Computação (UFRGS). Professora do Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais e do Programa de Pós-Graduação em Letras (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Av. Independência 2293, Bairro Universitário, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Email: frozza@unisc.br.
- 4 <https://orcid.org/0000-0002-4147-892X> - Doutora em Engenharia de Produção (UFSC). Professora do Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais e do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Av. Independência 2293, Bairro Universitário, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Email: liane@unisc.br
- 5 <https://orcid.org/0000-0003-4873-7696> - Doutora em Medicina e Ciências da Saúde (PUCRS). Professora do Programa de Pós-Graduação em Promoção da Saúde (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Av. Independência 2293, Bairro Universitário, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Email: janinek@unisc.br
- 6 <https://orcid.org/0000-0001-7523-7211> - Doutor em Genética e Biologia Molecular (UFRGS). Professor do Programa de Pós-Graduação em Promoção da Saúde (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Av. Independência 2293, Bairro Universitário, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Email: rieger@unisc.br.





ABSTRACT: Efficient management of Health System Waste (HSW) is a critical component for the sustainable operation of health institutions, environmental protection, and public health quality. Artificial Intelligence (AI) has been widely applied across various facets of the healthcare sector, its integration into education and management of HSW remains substantially unexplored. This article seeks to highlight a significant gap in the scientific literature using AI as an educational tool in teaching proper hospital waste disposal practices. A qualitative analysis was performed using articles from scientific databases. The findings indicate that, despite the growing need for innovative solutions in sustainability education in the health context, only 0.005% of studies have dedicated efforts to explore how AI can be employed to enhance the understanding and execution of waste disposal practices. This work discusses potential reasons for this omission and suggests future directions, such as the development of a digital platform that integrates a conversational agent, based on AI with written and voice natural language interaction, and gamification elements, such as games and prizes, promoting practical and interactive education in waste management.

KEYWORDS: artificial intelligence, health system waste, waste management, environmental health education, sustainability.

Introdução

O advento da Inteligência Artificial (IA) tem revolucionado inúmeros setores, incluindo o domínio da saúde, cujas aplicações variam desde diagnósticos avançados até a otimização de operações hospitalares (LOH *et al.*, 2022) (ZHANG *et al.*, 2022). Também a promoção da educação em saúde é um tema relevante, promovendo ações educativas, preventivas e curativas (DE ZORZI; COPETTI, 2023). Apesar deste avanço, a gestão de resíduos hospitalares, um aspecto crítico para a sustentabilidade ambiental e a segurança da saúde pública, tem uma integração relativamente lenta de soluções de IA (BAMAKAN *et al.*, 2022); (IHSANULLAH *et al.*, 2022).

A gestão adequada dos resíduos de saúde é um desafio global, com implicações que vão desde o controle de infecções até a mitigação de danos ambientais (RANJBARI *et al.*, 2022). A educação é um pilar fundamental na implementação de práticas de descarte eficazes, mas muitas instituições de saúde ainda adotam métodos tradicionais de treinamento, que podem não ser suficientes para abordar as complexidades e a dinâmica dos riscos atuais (MUSA *et al.*, 2023).

Já em educação, investigações recentes sugerem um potencial significativo para o uso de tecnologias de IA neste âmbito, promovendo métodos de ensino personalizados e adaptativos (FAROOQI *et al.*, 2023). Contudo, pouco se discute sobre como essas inovações poderiam ser aplicadas especificamente ao ensino e à gestão de resíduos de saúde (FAN *et al.*, 2023). Esta lacuna na literatura não apenas destaca uma oportunidade de pesquisa, mas também sublinha a necessidade de uma exploração mais profunda de como a IA pode contribuir para este campo vital do desenvolvimento e da sobrevivência humana.

A implementação de Inteligência Artificial (IA) na gestão de resíduos de saúde transcende a inovação tecnológica, alinhando-se estrategicamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



(ODS) da ONU - particularmente o ODS 3, que foca em Saúde e Bem-Estar, e o ODS 11, que promove Cidades e Comunidades Sustentáveis (GUIA AGENDA 2030, 2020). A IA tem o potencial de aprimorar a saúde pública, reduzindo os riscos associados ao manejo e descarte inadequado de resíduos médicos, contribuindo assim para o bem-estar das comunidades e a resiliência urbana. Enquanto promove práticas de gestão de resíduos inteligentes e sustentáveis, este estudo se debruça sobre a intersecção entre a IA e a educação ambiental voltada para o manejo de resíduos de saúde, uma área de importância crescente. Diante da necessidade urgente e relevante de inovação na educação dos profissionais de saúde, a problemática central que norteia esta pesquisa é: Como a inteligência artificial pode auxiliar na educação ambiental focada em resíduos de saúde? Com este questionamento, o estudo pretende explorar métodos educacionais que não apenas informem, mas também capacitem os indivíduos para tomadas de decisões sustentáveis, visando contribuir significativamente tanto para a literatura existente quanto para a prática ambiental no contexto da saúde.

O artigo está organizado nas seguintes seções: a seção 2 aborda o método empregado na pesquisa; a seção 3 descreve os resultados e as discussões; a seção 4 apresenta as conclusões desta etapa da pesquisa.

Método

Este estudo foi realizado em três etapas: i) busca quantitativa de trabalhos científicos; ii) revisão de literatura; iii) *brainstorming*.

Com vistas a estruturar a busca por artigos relacionados, foi realizada a bibliometria quantitativa (ARAÚJO, 2006), ilustrada na Tabela 1, sendo utilizados os termos de pesquisa “artificial intelligence”, “healthcare waste management” e “health waste”. A seleção de documentos foi delimitada a artigos e revisões publicados no período de 2018 a 2023. As pesquisas foram conduzidas nas plataformas de dados Scopus, BVS - Biblioteca Virtual em Saúde e PubMed Central: PMC, nas quais foram obtidos, respectivamente, 3, 0 e 40 resultados com a aplicação combinada dos termos de busca.

Tabela 1 – Bibliometria quantitativa.

Scopus, BVS e PubMed Central: PMC	“artificial intelligence”			(“healthcare waste management” OR “health waste”)		
	Scopus	BVS	PMC	Scopus	BVS	PMC
“artificial intelligence”	534.282	45.787	122.437	3	0	40
(“healthcare waste management” OR “health waste”)				213	1.805	396
(“artificial intelligence”) AND (“healthcare waste management” OR “health waste”)				Scopus: 3 BVS: 0 PMC: 40		

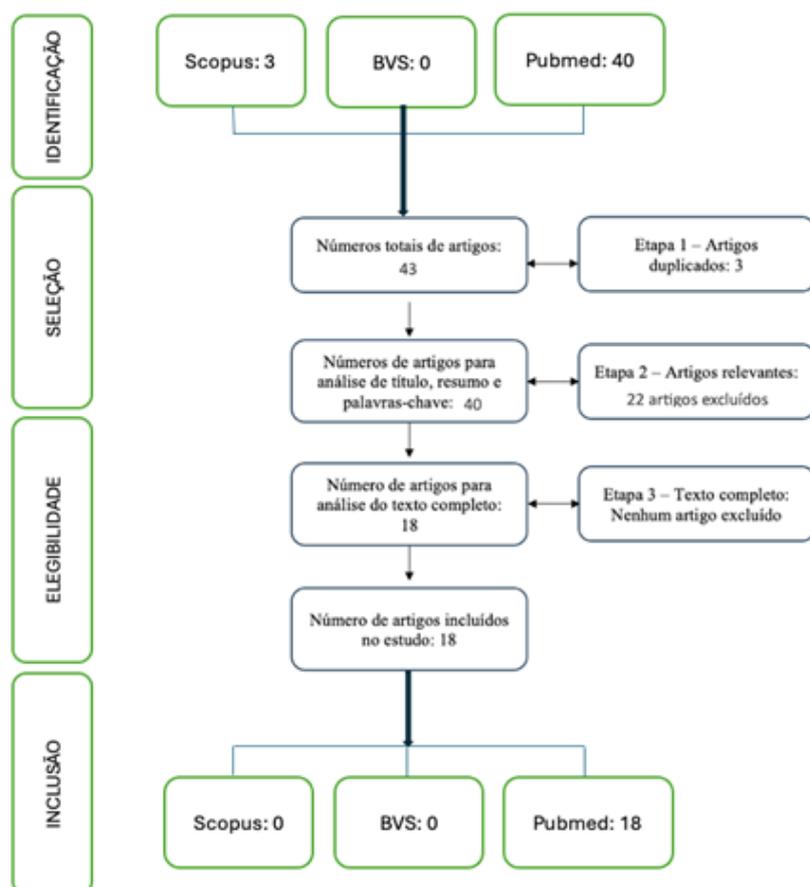
Fonte: Pesquisa realizada em 29/01/2024.



A análise dos dados apresentados na Tabela 1 revela que a aplicação da IA na gestão de resíduos de saúde é uma área ainda incipiente dentro do escopo acadêmico. Com base em uma revisão abrangente de 704.960 publicações, somente 40 delas abordam a interseção entre IA e gestão de resíduos, o que corresponde a um ínfimo percentual de apenas 0,005%. Este baixo índice de pesquisa é alarmante, considerando a urgência e a complexidade dos problemas associados à gestão de resíduos de saúde. A adoção de soluções baseadas em inteligência artificial promete transformações significativas nos métodos convencionais de tratamento de resíduos, sugerindo que esta deve ser uma área prioritária para futuras investigações. Dessa forma, enfatiza-se a importância crítica de se expandir as pesquisas nesse domínio, visando explorar plenamente o potencial da IA para inovar e otimizar a gestão de resíduos no setor da saúde.

A análise dos artigos selecionados segue os resultados apresentados na Tabela 1, destacando a necessidade de um foco acadêmico mais aprofundado na interseção entre a gestão de resíduos de saúde e a inteligência artificial. Na sequência, foram filtrados os resultados da bibliometria quantitativa, considerando, como critério de inclusão, apenas aqueles que surgiram da combinação dos termos de pesquisa, ou seja, 43 artigos. A Figura 1 ilustra o processo de seleção dos artigos para análise nesta pesquisa, baseado no método PRISMA. Este consiste em uma série de critérios designados para auxiliar os pesquisadores a aprimorarem revisões sistemáticas e meta-análises (GALVÃO *et al.*, 2015).

Figura 1 – Etapas do método PRISMA. (Fonte: Autores, 2024)





Conforme ilustrado na Figura 1, foi realizado um meticuloso processo de filtragem que envolveu a leitura atenta de títulos, resumos e palavras-chave. O objetivo desta análise era identificar os artigos mais relevantes para o tema de pesquisa: “Desenvolvimento de uma Plataforma com Agente Conversacional e Gamificação para Gestão e Educação em Resíduos de Saúde”. A partir da extensa pesquisa bibliográfica apresentada na Tabela 1, catalogou-se um total de 40 artigos de potencial interesse.

A seleção inicial foi conduzida por meio de um processo chamado “triagem de título e resumo”. Este método envolve a leitura cuidadosa dos títulos e resumos de cada artigo identificado para determinar a relevância do mesmo para o tema de estudo.

Neste contexto, cada artigo foi submetido a uma análise criteriosa, com base nos seguintes critérios de inclusão: se o tema estava relacionado à gestão de RSS e se havia alguma associação com a utilização de inteligência artificial como auxílio. Além disso, as palavras-chave foram minuciosamente analisadas para verificar a sua compatibilidade com o tema do estudo.

Após essa análise, 22 dos 40 artigos não cumpriram os critérios de inclusão estabelecidos. Alguns estudos, por exemplo, se concentravam na gestão de resíduos de saúde, mas não faziam referência à utilização de inteligência artificial como ferramenta auxiliar.

Desta forma, os 22 artigos foram excluídos, pelo critério de exclusão de não relacionar o uso de IA como auxílio à gestão de RSS, restando 18 artigos que cumpriram todos os critérios e, portanto, foram considerados relevantes para o tema de estudo. Estes artigos foram então submetidos a uma análise mais aprofundada, sendo incluídos no estudo.

A triagem de título e resumo é uma prática comum em revisões de literatura, especialmente, em revisões sistemáticas, pois auxilia a focar nos estudos mais relevantes.

Resultados e Discussões

Nesta seção, explora-se o estado da arte em plataformas que abordam a gestão e a educação em resíduos de saúde por meio da utilização de agentes conversacionais e gamificação. Para fornecer um panorama abrangente e identificar lacunas na pesquisa existente, foram revisados, cuidadosamente, 18 artigos selecionados que abordam este tópico. Cada artigo foi escolhido por sua proximidade ao tema educação e gestão de resíduos de saúde. São discutidos os objetivos, as metodologias e os principais resultados desses trabalhos para estabelecer o contexto em que esta pesquisa se insere.

O estudo de (NEVES *et al.*, 2022) buscou uma análise profunda do gerenciamento de resíduos clínicos em hospitais de Belo Horizonte, Brasil. A pesquisa mostrou que a geração de resíduos nesses hospitais superou as estimativas de estudos anteriores, evidenciando a necessidade de estratégias de gerenciamento mais eficientes. A questão da segregação adequada dos resíduos e do tratamento duplo também foram levantadas como áreas de melhoria. Esses resultados pavimentam o caminho para uma discussão mais ampla sobre a sustentabilidade no setor de saúde.



Nesse contexto mais amplo, (KAZANÇOĞLU *et al.*, 2021) concentraram-se nos desafios relacionados à economia circular e sustentabilidade na saúde. Utilizando uma abordagem metodológica abrangente e técnicas de análise de *big data*, o estudo destacou barreiras significativas e propôs um conjunto de soluções habilitadas por dados. Além disso, o trabalho oferece diretrizes gerenciais e políticas práticas para aprimorar a sustentabilidade no setor. A importância dessas diretrizes torna-se ainda mais evidente quando são considerados cenários críticos, como pandemias.

Os autores (CHEW *et al.*, 2023) abordaram precisamente um desses cenários críticos, focando no manejo de resíduos médicos no contexto da pandemia de COVID-19 no Iraque. O estudo empregou uma variedade de técnicas de análise para identificar os hospitais que mais geraram resíduos durante a pandemia e avaliou a eficácia dos métodos de descarte. O método do ozônio, em particular, foi identificado como altamente eficaz e alinhado com os princípios da economia circular. Esses achados fornecem orientações práticas que podem informar políticas governamentais, unindo-se, assim, ao corpo de pesquisas que buscam transformar hospitais em instituições mais sustentáveis.

Ainda, (GOLBAZ *et al.*, 2019) examinaram a necessidade de prever com precisão a geração de resíduos sólidos hospitalares. Utilizando uma série de métodos, incluindo inteligência artificial, o estudo concluiu que modelos baseados em *kernel* são eficazes na previsão de taxas de geração de resíduos. O número de funcionários e o tipo de propriedade do hospital também foram identificados como variáveis chave nessa previsão. Esses resultados, portanto, não apenas complementam as observações dos estudos anteriores sobre a necessidade de melhores práticas de gestão, mas também fornecem ferramentas concretas para aprimorar essas práticas e minimizar impactos ambientais.

O estudo conduzido por (NGOC *et al.*, 2022) focou na análise sistemática da carga global de resíduos biomédicos durante a pandemia de COVID-19 e em avaliar seus impactos na saúde humana e ambiental. Utilizando uma revisão da literatura como método, os pesquisadores identificaram 15 artigos relevantes entre os 3.551 analisados. Eles descobriram que o volume de resíduos biomédicos aumentou substancialmente, chegando a cerca de 16.649,48 toneladas por dia. Este aumento foi majoritariamente atribuído ao crescente número de pacientes com COVID-19. Embora a maioria dos estudos se concentre nos impactos ambientais, poucos analisaram os efeitos desses resíduos na saúde humana. O estudo concluiu enfatizando a necessidade de investigações adicionais, incluindo meta-análises, para compreender melhor a relação entre resíduos biomédicos e a saúde ambiental durante a pandemia.

A fim de entender melhor essa relação entre resíduos biomédicos e a saúde ambiental, (HASIJA *et al.*, 2022) decidiram explorar o impacto ambiental dos resíduos gerados pela campanha de vacinação em massa contra a COVID-19. O estudo examinou a viabilidade de usar materiais naturais e biodegradáveis como alternativas sustentáveis aos plásticos convencionais em diversas etapas do processo de vacinação. Os autores discutiram, por exemplo, a substituição do plástico polipropileno por bioplásticos ou papel em embalagens de vacinas. O resultado mais significativo foi a ênfase na importância de soluções sustentáveis na desinfecção e substituição de ferramentas de vacinação, visando tornar as campanhas de vacinação mais ecologicamente responsáveis.



Aprofundando ainda mais a questão da sustentabilidade em contextos médicos, (SIJM-EEKEN *et al.*, 2022) apresentaram uma abordagem inovadora para a criação de uma estrutura teórica chamada “Green-Mission (Soluções de Informática Médica)”. Esta estrutura visa o desenvolvimento e a implementação de soluções de saúde mais ecologicamente sustentáveis. Combinando princípios da informática médica com conceitos de ciências ambientais, a estrutura classifica as soluções em três categorias: monitoramento do impacto ambiental, conscientização dos envolvidos e intervenções de redução. O estudo sugere que futuras pesquisas devem focar na avaliação do impacto real destas soluções na sustentabilidade ambiental e na resiliência climática.

Já, os autores (WANG *et al.*, 2023) oferecem uma análise abrangente sobre a poluição plástica induzida pela pandemia de COVID-19. Com o objetivo de realizar uma revisão sistemática a partir de uma abordagem bibliométrica, o estudo examina a evolução da pesquisa em diferentes países. O artigo aponta que, embora as nações desenvolvidas tenham sido pioneiras na pesquisa sobre o impacto dos plásticos durante a pandemia, os países em desenvolvimento estão começando a seguir este caminho. O estudo reitera a urgência de tratar da questão da poluição plástica em escala global, alinhando-se com os esforços anteriores para abordar o impacto ambiental da pandemia.

O estudo de (ADUSEI-GYAMFI *et al.*, 2022) aborda os desafios e as oportunidades na gestão de resíduos sólidos na África, um problema exacerbado pela pandemia da COVID-19. Os autores focam na mudança da quantidade e da composição dos resíduos gerados, especialmente, os equipamentos de proteção individual, como máscaras feitas de materiais poliméricos. Como solução, os autores propõem estratégias para uma gestão mais eficaz desses resíduos, incentivando a inovação e os investimentos. Isso estabelece o contexto para considerar o impacto da pandemia na geração de resíduos médicos em outros lugares, como Istambul, na Turquia.

Em outro estudo, conduzido por (CEYLAN *et al.*, 2020), o objetivo foi estimar a geração futura de resíduos médicos em Istambul, usando métodos de modelagem matemática como ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), SVR (Support Vector Regression), modelagem cinza (1,1) e regressão linear. O modelo ARIMA (0,1,2) destacou-se pelo seu desempenho superior na precisão das projeções. Segundo este modelo, espera-se um aumento significativo na geração anual de resíduos médicos na cidade. Este dado é relevante para os decisores políticos, uma vez que se relaciona diretamente com os desafios apontados no contexto africano, como a necessidade de sistemas de gestão de resíduos mais robustos e eficazes.

Em uma vertente similar, (WANG *et al.*, 2021) visam preencher uma lacuna no contexto da gestão da pandemia da COVID-19, concentrando-se na produção de resíduos infecciosos em Wuhan, na China. Utilizando regressão linear múltipla, o estudo concluiu que pacientes confirmados contribuem significativamente mais para a geração de resíduos infecciosos. Essa informação é crucial para otimizar estratégias de gestão e descarte de resíduos, especialmente, em situações epidêmicas. É mais uma peça do complexo quebra-cabeça de como a pandemia afetou a gestão de resíduos em todo o mundo.



No trabalho de (XIN *et al.*, 2022), a pesquisa é direcionada para uma revisão sistemática da logística reversa de resíduos perigosos municipais ao longo das últimas três décadas. Este estudo fornece uma visão abrangente do campo, identificando lacunas de pesquisa e potenciais áreas para estudo futuro. Em um contexto mais amplo, este trabalho serve como uma excelente base para a compreensão das melhores práticas na gestão de resíduos perigosos, contribuindo para os esforços em áreas já abordadas nos outros estudos, seja na África, Istambul ou Wuhan.

O artigo conduzido por (PAMUČAR *et al.*, 2023) aborda a crescente complexidade da gestão de resíduos de saúde no contexto da pandemia de COVID-19. Este estudo inovador utiliza números fuzzy e a função de Aczel-Alsina para propor uma abordagem inédita na seleção de tratamentos de resíduos hospitalares em Brčko, Bósnia e Herzegovina. A pesquisa destaca o critério “Impacto Ambiental” como o mais importante e sugere que o tratamento por “micro-ondas” é o mais adequado para a situação.

Essa linha de pesquisa se conecta bem com o trabalho de (JAYASINGHE *et al.*, 2023), que também investiga os efeitos da pandemia no setor de resíduos. O foco é analisar a dinâmica da geração de resíduos durante a pandemia e identificar oportunidades para melhorar a infraestrutura de gestão de resíduos de forma sustentável. Além disso, esse estudo contribui com cinco estratégias chaves para o futuro, como a descentralização das instalações de gestão e a modernização das políticas, reforçando a necessidade de uma abordagem abrangente em cenários de crise.

A interface entre a economia circular e a indústria 4.0 é o foco do artigo de (CHAUHAN *et al.*, 2021). Eles argumentam que a aplicação de tecnologias avançadas pode melhorar a gestão de resíduos de saúde, especialmente, em ambientes urbanos inteligentes. O estudo emprega uma metodologia de avaliação de decisão para identificar critérios que permitam a integração digital eficaz entre várias partes interessadas, como centros de saúde e autoridades de controle de poluição. Essas considerações tecnológicas e sistemáticas são vitais para abordar desafios de sustentabilidade e segurança.

Esses desafios também são evidenciados por (MAHYARI *et al.*, 2022), que analisam as necessidades de adaptabilidade e de resiliência nos sistemas de gestão de resíduos, particularmente, durante e após a pandemia de COVID-19. O estudo identifica várias áreas problemáticas na gestão de resíduos e apresenta quatro pilares para aprimorar esses sistemas, incluindo a promoção de uma economia circular e o desenvolvimento de políticas eficazes. A análise sugere que a pandemia serviu como um alerta para a importância de sistemas de gestão de resíduos robustos e flexíveis.

Da mesma forma, o estudo de (RANJBARI *et al.*, 2023) oferece uma abordagem multidisciplinar para compreender o campo do gerenciamento de resíduos durante a pandemia. Este trabalho fornece *insights* valiosos por meio da análise de 1.030 artigos científicos, identificando temas críticos e lacunas de pesquisa que podem informar políticas futuras.

Finalmente, o artigo de (TANVEER *et al.*, 2022) complementa essas discussões, ao examinar as tendências em gestão de resíduos e tecnologia verde no âmbito da economia circular. O estudo destaca seis temas centrais, incluindo a transição para a economia circular e a gestão de resíduos de construção,



o que reforça a necessidade de uma visão integrada e que aborda tanto os desafios ambientais quanto tecnológicos para promover a sustentabilidade.

A Tabela 2 apresenta um comparativo dos trabalhos relacionados incluídos no estudo, destacando objetivo, o tipo de resíduo ou contexto da pesquisa e se houve algum produto gerado ou outro tipo de resultado ou contribuição.

Tabela 2 - Comparativo dos Trabalhos Relacionados.

<i>Trabalho</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Tipo de Resíduo ou Contexto</i>	<i>Técnicas de IA</i>	<i>Produto/Resultado/ Contribuição</i>
(NEVES <i>et al.</i> , 2022)	Avaliar a gestão de Resíduos de Serviços de Saúde em hospitais de Belo Horizonte	Resíduos de Serviços de Saúde em hospitais	Técnicas Estatísticas	Banco de dados sobre a gestão de resíduos hospitalares, com fontes, geração, coleta, transporte, tratamento e disposição desses resíduos. Importância da segregação adequada e falta de parâmetros padronizados para avaliação da geração de resíduos em hospitais.
(KAZANÇOĞLU <i>et al.</i> , 2021)	Propor soluções de <i>big data</i> para superar barreiras à economia circular na saúde.	Resíduos médicos, impacto ambiental, eficiência energética.	Análise de dados, Aprendizado de máquina, Redes neurais e Técnicas Estatísticas	Identificação de barreiras à economia circular, estrutura de soluções com <i>big data</i> e recomendações para desenvolvimento sustentável no setor de saúde.
(CHEW <i>et al.</i> , 2023)	Abordar a gestão de resíduos médicos durante a pandemia de COVID-19 no Iraque	Resíduos médicos gerados durante a pandemia de COVID-19	Nenhuma	Identificação e classificação dos 10 hospitais que mais geraram resíduos médicos; avaliação de técnicas de descarte, técnicas mais eficazes, e a sugestão do ozônio como a abordagem mais adequada para a economia circular de resíduos médicos.
(GOLBAZ <i>et al.</i> , 2019)	Previsão de Geração de RSS	Resíduos Sólidos Hospitalares	Aprendizado de máquina	Desenvolvimento de modelos de previsão precisos baseados em aprendizado de máquina.
(NGOC <i>et al.</i> , 2022)	Avaliar a carga global de resíduos biomédicos durante a pandemia de COVID-19	Resíduos biomédicos durante a pandemia de COVID-19	Nenhuma	Quantificação da carga global de resíduos biomédicos durante a pandemia de COVID-19 (aproximadamente 16.649,48 toneladas/dia); Análise do impacto desses resíduos na saúde humana e no meio ambiente; Discussão de possíveis soluções para o manejo de resíduos biomédicos relacionados à COVID-19.



<i>Trabalho</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Tipo de Resíduo ou Contexto</i>	<i>Técnicas de IA</i>	<i>Produto/Resultado/ Contribuição</i>
(HASIJA <i>et al.</i> , 2022)	Reduzir o impacto ambiental dos resíduos da vacinação da COVID-19	Resíduos plásticos decorrentes da vacinação em massa	Nenhuma	Uso de materiais naturais e biodegradáveis, como gomas poliméricas e bioplásticos, como alternativas sustentáveis para serem usadas em máscaras cirúrgicas, embalagens de vacinas e equipamentos de proteção; alcançar uma campanha de vacinação ecologicamente correta e com desperdício zero.
(SIJM-EEKEN <i>et al.</i> , 2022)	Desenvolver uma estrutura para soluções de informática médica verde e sustentabilidade ambiental.	Informática Médica e Mudanças Climáticas	Nenhuma	Estrutura “Green-Mission” para soluções de informática médica verde e sustentabilidade ambiental.
(WANG <i>et al.</i> , 2023)	Poluição Plástica no COVID-19	Pandemia de COVID-19	Nenhuma	Revisão bibliométrica do estado atual e perspectivas da pesquisa sobre poluição plástica induzida pela pandemia de COVID-19. Destaca a diferença na abordagem entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, o efeito Mateus na pesquisa, e o impacto dos plásticos em cadeia no ambiente ecológico, enfatizando a ameaça dos componentes não degradáveis.
(ADUSEI-GYAMFI <i>et al.</i> , 2022)	Gestão de Resíduos Pós-COVID-19	Resíduos sólidos gerados durante a pandemia e descarte de EPIs	Nenhuma	Identificação dos desafios ambientais e oportunidades para melhorar a gestão de resíduos sólidos na África, incluindo inovação social e tecnológica, investimento em infraestrutura e serviços de resíduos, visando alcançar uma gestão mais eficiente e sustentável de resíduos sólidos no continente.
(CEYLAN <i>et al.</i> , 2020)	Estimar a geração de resíduos médicos em Istambul para os próximos anos.	Resíduos médicos na cidade de Istambul, Turquia.	Modelagem estatística, Aprendizado de máquina, Análise de dados e Regressão linear	Desenvolvimento de um modelo ARIMA (0,1,2) preciso para prever a quantidade de resíduos médicos futuros.



<i>Trabalho</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Tipo de Resíduo ou Contexto</i>	<i>Técnicas de IA</i>	<i>Produto/Resultado/ Contribuição</i>
(WANG <i>et al.</i> , 2021)	Avaliação quantitativa de resíduos infecciosos de saúde de números de pacientes confirmados, suspeitos e ambulatoriais durante a pandemia de COVID-19: um estudo de caso de Wuhan	Resíduos de Saúde, Pandemia de COVID-19	Nenhuma	Modelo de Regressão Linear Múltipla para prever a produção de resíduos infecciosos de saúde (IHCWs) com base no número de pacientes. Taxas de produção estimadas para pacientes confirmados, suspeitos e ambulatoriais. Estimativa da produção constante de IHCWs durante a pandemia em Wuhan (13 toneladas/dia). Contribuição para o gerenciamento e descarte adequados de resíduos de saúde durante a pandemia.
(XIN <i>et al.</i> , 2022)	Revisão sistemática da literatura sobre Logística Reversa de Resíduos Perigosos Municipais.	Resíduos perigosos municipais	Nenhuma	Identificação de tendências, principais tópicos, áreas de pesquisa populares, métodos utilizados, deficiências de pesquisa e direções futuras em logística reversa de resíduos perigosos municipais.
(PAMUČAR <i>et al.</i> , 2023)	Seleção de tratamento de gestão de resíduos de saúde usando números aproximados fuzzy e função de Aczel-Alsina	Resíduos de Saúde (RSC) em contexto de aumento devido à pandemia de COVID-19	Lógica fuzzy	Seleção do tratamento mais adequado para profissionais de saúde com base em análise fuzzy e função de Aczel-Alsina, com destaque para o tratamento de “micro-ondas (A6)” como o melhor classificado.
(JAYASINGHE <i>et al.</i> , 2023)	Identificar oportunidades para infraestrutura de resíduos pós-pandemia	Resíduos gerados durante a pandemia de COVID-19, com foco em resíduos médicos infecciosos e não médicos	Nenhuma	Cinco oportunidades-chave para melhorar a infraestrutura de gerenciamento de resíduos: (1) Foco no setor de resíduos hospitalares; (2) Integração e descentralização de instalações de gerenciamento de resíduos; (3) Desenvolvimento de abordagens sistemáticas e ferramentas de quantificação de resíduos; (4) Transição para uma abordagem de economia circular; (5) Políticas de modernização para aumentar a eficácia pós-pandemia da infraestrutura de gerenciamento de resíduos.



<i>Trabalho</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Tipo de Resíduo ou Contexto</i>	<i>Técnicas de IA</i>	<i>Produto/Resultado/ Contribuição</i>
(CHAUHAN et al., 2021)	Identificar critérios para um sistema inteligente de descarte de resíduos de saúde e economia circular	Resíduos de saúde (hospitalares)	Nenhuma	Estabelecimento de critérios para um sistema inteligente de descarte de resíduos de saúde com ênfase na economia circular
(MAHYARI et al., 2022)	Adaptação dos sistemas de gestão de resíduos ao pós-COVID-19	Setor de gestão de resíduos afetado por pandemias imprevisíveis, com ênfase em desafios relacionados à geração, armazenamento, coleta, transporte, processamento e disposição de resíduos	Nenhuma	Identificação de desafios crescentes, lições aprendidas e estratégias-chave para aprimorar a gestão de resíduos, com destaque para a promoção da economia circular
(RANJBARI et al., 2023)	Analisar o impacto da pandemia de COVID-19 na geração de resíduos plásticos e nas práticas de gerenciamento.	Resíduos plásticos gerados durante a pandemia de COVID-19.	Nenhuma	Identificação de desafios ambientais devido ao aumento na geração de resíduos plásticos, bem como estratégias sustentáveis para lidar com essa questão.
(TANVEER et al., 2022)	Analisar tendências futuras na gestão de resíduos e tecnologia verde no contexto da economia circular para contribuir com a sustentabilidade ambiental.	Diversos tipos de resíduos, incluindo eletrônicos, plásticos, orgânicos e de construção e demolição.	Nenhuma	Identificação de temas de pesquisa proeminentes, orientação para pesquisas futuras e diretrizes para formuladores de políticas e profissionais na área de gestão de resíduos e inovação tecnológica.

Fonte: Autores, 2024.

Esta revisão da literatura sublinha a escassez de estudos focados especificamente na minimização dos resíduos de saúde fora do contexto educacional. Embora a educação seja um componente crucial, há uma necessidade evidente de explorar abordagens que vão além da conscientização e treinamento. O desenvolvimento de uma plataforma que incorpora um agente conversacional e elementos de gamificação atende a esse requisito, introduzindo métodos práticos e interativos para o manejo efetivo dos resíduos de saúde. Tal plataforma poderia transcender o paradigma educacional tradicional, fornecendo uma ferramenta de gestão operacional que facilita a aplicação direta de melhores práticas no tratamento de resíduos de saúde. Com a integração de tecnologia de inteligência artificial e gamificação, a solução proposta neste trabalho não só preenche as lacunas identificadas, mas também inova na forma como os



profissionais de saúde engajam e aplicam as estratégias de gestão de resíduos, contribuindo assim para os esforços globais de mitigação dos desafios nessa área crítica.

Conclusão

Este artigo ressalta uma lacuna significativa na literatura científica sobre a interseção entre Inteligência Artificial (IA) e gestão educacional de resíduos hospitalares. Ao analisar qualitativamente estudos pertinentes, identifica-se uma oportunidade crítica para o desenvolvimento de soluções inovadoras que integrem IA na educação e nas práticas de gestão de resíduos em contextos de saúde. A aplicação da IA promete não apenas otimizar a eficiência dessas práticas, mas também avançar os objetivos da ODS 3 — assegurando uma vida saudável e promovendo o bem-estar para todos, em todas as idades — e da ODS 11 — tornando cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis. Isso enfatiza a IA como uma ferramenta para a conscientização e a responsabilidade ambiental nas instituições de saúde. Esse é um chamado à comunidade acadêmica, profissionais de saúde e gestores públicos para reconhecer e preencher esta lacuna, incentivando pesquisa e desenvolvimento que alavanquem a IA como um catalisador para a educação ambiental e sustentabilidade no setor da saúde. A era da IA oferece um campo fértil para inovações que podem transformar significativamente a gestão de resíduos hospitalares, contribuindo assim para a saúde e o bem-estar global e para a construção de infraestruturas sustentáveis e resilientes.

A partir do levantamento de trabalhos relacionados, advindos da literatura científica, que aborda o uso da IA como ferramenta educacional no ensino de práticas adequadas de descarte de resíduos hospitalares e das análises apresentadas, a próxima etapa da pesquisa refere-se ao desenvolvimento de uma plataforma com agente conversacional e gamificação para gestão e educação em resíduos de saúde. Isso para a rede de atenção secundária e terciária, com a proposta de uma solução inovadora e tecnologicamente avançada que aprimore o manejo desses materiais, garantindo sua correta disposição e minimizando impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública. Também, para capacitar os profissionais de saúde com conhecimentos e recursos adequados para a gestão eficiente e segura dos resíduos gerados em suas atividades diárias.

Como contribuição prática desta pesquisa destaca-se o levantamento de requisitos advindos dos trabalhos relacionados para a modelagem e o desenvolvimento de uma plataforma de educação e gestão de resíduos de saúde, como: ser uma plataforma de acesso digital; utilizar elementos de gamificação, promovendo educação prática e interativa no manejo de resíduos; incluir jogos educativos, artigos interativos e quiz, oferecendo aprendizado dinâmico, com personalização de conteúdos por meio de um agente conversacional baseado em inteligência artificial, que orienta os usuários em tempo real. Essa plataforma pode tornar o gerenciamento de resíduos uma prática acessível e impactante em larga escala. A integração de elementos interativos e educativos em plataformas digitais pode preencher lacunas significativas no conhecimento sobre o gerenciamento de resíduos. Essas soluções oferecem não apenas informações claras e diretas, mas também incentivos para que os usuários incorporem boas práticas em seu



cotidiano. Outra contribuição é a proposta de uma solução tecnológica que aborde problemas ambientais e de saúde pública.

Agradecimentos

Agradecemos ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais da Universidade de Santa Cruz do Sul (PPGSPI - UNISC), ao Programa de Pós-Graduação em Promoção da Saúde da Universidade de Santa Cruz do Sul (PPGPS – UNISC) e ao Projeto PROAP CAPES/Número do Processo: 88881.987783/2024-01.

Referências

ADUSEI-GYAMFI, J.; BOATENG, K. S.; SULEMANA, A.; HOGARH, J. N. Post COVID-19 recovery: Challenges and opportunities for solid waste management in Africa. **Environmental Challenges**, 6, p. 100442, 2022.

ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em questão**, 12, n. 1, p. 11-32, 2006.

BAMAKAN, S. M. H.; MALEKINEJAD, P.; ZIAEIAN, M. Towards blockchain-based hospital waste management systems; applications and future trends. **Journal of Cleaner Production**, 349, p. 131440, 2022.

CEYLAN, Z.; BULKAN, S.; ELEVLI, S. Prediction of medical waste generation using SVR, GM (1, 1) and ARIMA models: a case study for megacity Istanbul. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, 18, p. 687-697, 2020.

CHAUHAN, A.; JAKHAR, S. K.; CHAUHAN, C. The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal. **Journal of cleaner production**, 279, p. 123854, 2021.

CHEW, X.; KHAW, K. W.; ALNOOR, A.; FERASSO, M. et al. Circular economy of medical waste: novel intelligent medical waste management framework based on extension linear Diophantine fuzzy FDOSM and neural network approach. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-27, 2023.

DE ZORZI, F. C. F., & COPETTI, J. Políticas de educação e saúde: interface para a qualidade de vida do aluno adolescente. *Ensino De Ciências E Tecnologia Em Revista – ENCITEC*, 13(3), 42-58. 2023. <https://doi.org/10.31512/encitec.v13i3.687>

FAN, Z.; YAN, Z.; WEN, S. Deep Learning and Artificial Intelligence in Sustainability: A Review of



SDGs, Renewable Energy, and Environmental Health. **Sustainability**, 15, n. 18, p. 13493, 2023.

FAROOQI, U. G.; MAHEEN, S. M.; ULHASAN, S. W.; ULHASAN, S. R. et al. Management Of Hospital Waste In Tertiary Hospitals Of Karachi. **Journal of Positive School Psychology**, 7, n. 5, p. 319-323, 2023.

GALVÃO, T. F.; PANSANI, T. D. S. A.; HARRAD, D. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. **Epidemiologia e serviços de saúde**, 24, p. 335-342, 2015.

GOLBAZ, S.; NABIZADEH, R.; SAJADI, H. S. Comparative study of predicting hospital solid waste generation using multiple linear regression and artificial intelligence. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, 17, p. 41-51, 2019.

GUIA AGENDA BRASIL 2030. Integrando ODS, educação e sociedade. Organização: Raquel Cabral, Thiago Gehre. São Paulo. 2020.

HASIJA, V.; PATIAL, S.; KUMAR, A.; SINGH, P. et al. Environmental impact of COVID-19 Vaccine waste: A perspective on potential role of natural and biodegradable materials. **Journal of environmental chemical engineering**, 10, n. 4, p. 107894, 2022.

IHSANULLAH, I.; ALAM, G.; JAMAL, A.; SHAIK, F. Recent advances in applications of artificial intelligence in solid waste management: A review. **Chemosphere**, p. 136631, 2022.

JAYASINGHE, P. A.; JALILZADEH, H.; HETTIARATCHI, P. The Impact of COVID-19 on Waste Infrastructure: Lessons Learned and Opportunities for a Sustainable Future. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 20, n. 5, p. 4310, 2023.

KAZANÇOĞLU, Y.; SAĞNAK, M.; LAFCI, Ç.; LUTHRA, S. et al. Big data-enabled solutions framework to overcoming the barriers to circular economy initiatives in healthcare sector. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 18, n. 14, p. 7513, 2021.

LOH, H. W.; OOI, C. P.; SEONI, S.; BARUA, P. D. et al. Application of explainable artificial intelligence for healthcare: A systematic review of the last decade (2011–2022). **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, p. 107161, 2022.

MAHYARI, K. F.; SUN, Q.; KLEMEŠ, J. J.; AGHBASHLO, M. et al. To what extent do waste management strategies need adaptation to post-COVID-19? **Science of the Total Environment**, 837, p. 155829, 2022.

MUSA, S.; ALIYU, A.; IKWUKA, A. O.; UDEH, F. C. Knowledge and Practice of Healthcare Waste Management among Healthcare Workers at Yusuf Dantsoho Memorial Hospital (YDMH), Kaduna, Nigeria. **European Journal of Clinical Medicine**, 4, n. 2, p. 31-36, 2023.

NEVES, A. C.; MAIA, C. C.; DE CASTRO, E. S. M. E.; VIMIEIRO, G. V. et al. Analysis of healthcare waste management in hospitals of Belo Horizonte, Brazil. **Environ Sci Pollut Res Int**, 29, n.



60, p. 90601-90614, Dec 2022.

NGOC, S.-M. V.; NGUYEN, M.-A.; NGUYEN, T.-L.; THI, H. V. et al. COVID-19 and environmental health: A systematic analysis for the global burden of biomedical waste by this epidemic. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, 6, p. 100245, 2022.

PAMUČAR, D.; PUŠKA, A.; SIMIĆ, V.; STOJANOVIĆ, I. et al. Selection of healthcare waste management treatment using fuzzy rough numbers and Aczel–Alsina Function. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 121, p. 106025, 2023.

RANJBARI, M.; ESFANDABADI, Z. S.; GAUTAM, S.; FERRARIS, A. et al. Waste management beyond the COVID-19 pandemic: Bibliometric and text mining analyses. **Gondwana Research**, 114, p. 124-137, 2023.

RANJBARI, M.; ESFANDABADI, Z. S.; SHEVCHENKO, T.; CHASSAGNON-HANED, N. et al. Mapping healthcare waste management research: Past evolution, current challenges, and future perspectives towards a circular economy transition. **Journal of hazardous materials**, 422, p. 126724, 2022.

SIJM-EEKEN, M. E.; ARKENAAR, W.; JASPERS, M. W.; PEUTE, L. W. Medical informatics and climate change: a framework for modeling green healthcare solutions. **Journal of the American Medical Informatics Association**, 29, n. 12, p. 2083-2088, 2022.

TANVEER, M.; KHAN, S. A. R.; UMAR, M.; YU, Z. et al. Waste management and green technology: Future trends in circular economy leading towards environmental sustainability. **Environmental Science and Pollution Research**, 29, n. 53, p. 80161-80178, 2022.

WANG, J.; CHEN, Z.; LANG, X.; WANG, S. et al. Quantitative evaluation of infectious health care wastes from numbers of confirmed, suspected and out-patients during COVID-19 pandemic: A case study of Wuhan. **Waste Management**, 126, p. 323-330, 2021.

WANG, Q.; ZHANG, C.; LI, R. Plastic pollution induced by the COVID-19: Environmental challenges and outlook. **Environmental Science and Pollution Research**, 30, n. 14, p. 40405-40426, 2023.

XIN, C.; WANG, J.; WANG, Z.; WU, C.-H. et al. Reverse logistics research of municipal hazardous waste: a literature review. **Environment, Development and Sustainability**, 24, n. 2, p. 1495-1531, 2022.

ZHANG, Y.; WENG, Y.; LUND, J. Applications of explainable artificial intelligence in diagnosis and surgery. **Diagnostics**, 12, n. 2, p. 237, 2022.