

7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA GESTÃO DE RESÍDUOS EM CIDADES INTELIGENTES NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA REVISÃO DA LITERATURA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.XII-016>

Romero de Albuquerque Maranhão (*)

* Universidade Católica de Salvador, e-mail: romeroalbuquerque@bol.com.br.

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos é um desafio para as cidades inteligentes no contexto das mudanças climáticas. A inteligência artificial (IA) pode ser utilizada para otimizar a coleta e a reciclagem de resíduos sólidos, analisando dados de sensores e câmeras para identificar pontos críticos e programar rotas mais eficientes. Além disso, a inteligência artificial identifica materiais recicláveis e não recicláveis, permitindo que as empresas de coleta separem e reciclem os materiais de forma mais eficiente. Assim, esta pesquisa realizou uma revisão da literatura para explorar a temática. Os resultados indicam que os sistemas tradicionais de gerenciamento de resíduos são ineficientes e já não atendem as demandas das cidades. Soluções utilizando a IA contribuem para identificar os tipos de resíduos, na previsão da quantidade que será gerada e sugerindo as melhores formas de gerenciá-lo, reduzindo assim, a quantidade destinada aos aterros sanitários e seu impacto ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Resíduos, Cidades Inteligentes, Lixeiras Inteligentes e Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

Solid waste management is a challenge for smart cities in the context of climate change. Artificial intelligence (AI) can be used to optimize the collection and recycling of solid waste, analyzing data from sensors and cameras to identify critical points and schedule more efficient routes. Additionally, artificial intelligence identifies recyclable and non-recyclable materials, allowing collection companies to separate and recycle materials more efficiently. Therefore, this research carried out a literature review to explore the topic. The results indicate that traditional waste management systems are inefficient and no longer meet the demands of cities. Solutions using AI contribute to identifying the types of waste, predicting the amount that will be generated and suggesting the best ways to manage it, thus reducing the amount destined for landfills and its environmental impact.

KEY WORDS: Waste Management, Smart Cities, Smart Waste Bins and Climate Change.

INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional, o adensamento nas cidades e os novos hábitos de consumo acarretaram problemas ambientais severos, dentre os quais, a produção exponencial de resíduos. Globalmente, mais de 2 mil milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) são gerados todos os anos, prevendo-se que essa quantidade atinja cerca de 3,5 mil milhões de toneladas até 2050 (YATOO et al., 2024).

Aliado a essas questões, o aumento abrupto dos fenômenos meteorológicos extremos (inundações, ondas de calor, secas, etc.) devido às alterações climáticas nas últimas décadas elevou o nível de ameaças a vários setores (comércio, agricultura, turismo, energia, transportes, etc.) a nível global. As projeções climáticas dos modelos de circulação global indicam eventos extremos mais intensos e frequentes no futuro, que por sua vez representam mais riscos para as infraestruturas socioeconômicas (CHEN et al., 2023; FANG et al., 2023).

Contudo, os recentes avanços obtidos nos domínios da Inteligência Artificial (IA) revelam perspectivas e oportunidades transformadoras para melhorar e otimizar o desempenho ambiental e a eficiência das cidades inteligentes (BIBRI et al., 2024). Estes avanços podem trazer melhorias contínuas e impulsionar soluções para as cidades enfrentarem os desafios ambientais complexos, dentre eles, a Gestão de Resíduos Urbanos (GRU) (figura 1).



Figura 1: Inteligência Artificial para a Gestão de Resíduos nas cidades inteligentes. Fonte: <https://www.iiotworlds.com/pt-br/gestao-mais-inteligente-de-residuos-para-residuos-municipais/>

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar de que forma as tecnologias de IA podem contribuir para o aprimoramento da GRU em cidades inteligentes, no contexto das mudanças climáticas, a partir de uma revisão bibliográfica. A pesquisa justifica-se por conta da lacuna existente na literatura recente, bem como pelas possibilidades da IA contribuir significativamente para o aprimoramento da GRU, trazer inovações e práticas ambientais sustentáveis para as cidades.

Acredita-se que por intermédio da utilização de tecnologias avançadas e IA, as cidades inteligentes possam aumentar a sua competitividade econômica e criar padrões de vida mais elevados para os seus cidadãos.

METODOLOGIA

Realizou-se uma pesquisa do tipo exploratória, na qual segundo Gil (2008), tem o objetivo de desenvolver, explicar ou modificar conceitos e ideias, a fim de formular um problema mais preciso ou hipóteses possíveis de serem pesquisadas em estudos no futuro. O estudo foi executado por meio de levantamento bibliográfico desenvolvido primordialmente em artigos recentes de periódicos internacionais e nacionais, acessados por meio das bases de dados que compõem o Portal de Periódicos da Capes e Scielo.

REFERENCIAL TEÓRICO

Inteligência Artificial

A inteligência artificial é um campo da ciência da computação que se dedica ao estudo e ao desenvolvimento de máquinas e programas computacionais capazes de reproduzir o comportamento humano na tomada de decisões e na realização de tarefas, desde as mais simples até as mais complexas. É comumente conhecida pela sigla IA ou AI (em inglês, artificial intelligence) (KONYA e NEMATZADEH, 2024).

Contudo, as aplicações de IA não se limitam ao campo da ciência da computação, mas também se estendem à engenharia, matemática, física, astronomia, robótica, medicina, biologia molecular e genética, química, transportes, marketing digital, ciências sociais, ciência forense e agricultura de precisão. As ferramentas de IA tornaram-se cada vez mais populares em vários campos e pesquisas devido ao seu rápido desenvolvimento e soluções eficientes. As ferramentas de IA oferecem muitos benefícios profissionais e pessoais em muitas disciplinas, incluindo ciência e engenharia ambiental (KONYA e NEMATZADEH, 2024).

Alguns autores (BODEN, 2017; TEIXEIRA, 2019; LUDERMIR, 2021) apontam que há quatro tipos principais de inteligência artificial:

- **Aprendizado de máquina (Machine Learning):** é um dos principais ramos da inteligência artificial e tem sido amplamente utilizado na indústria. Ele envolve o desenvolvimento de algoritmos que permitem que as máquinas



aprendam com dados e melhorem seu desempenho ao longo do tempo. Com o aprendizado de máquina, as máquinas podem automatizar tarefas complexas, detectar padrões e tomar decisões com base nos dados disponíveis.

- **Processamento de linguagem natural (Natural Language Processing):** é outra área importante da inteligência artificial que concentra-se em permitir que as máquinas entendam e processem a linguagem humana de forma eficaz. Com essa tecnologia, os sistemas podem interpretar e responder a comandos de voz, traduzir idiomas automaticamente e até mesmo gerar texto de forma autônoma.

- **Visão computacional (Computer Vision):** é um campo da inteligência artificial que permite que as máquinas “vejam” e interpretem imagens ou vídeos. Por meio de algoritmos avançados, as máquinas podem reconhecer objetos, pessoas e até mesmo emoções em imagens. Essa tecnologia tem aplicações vastas na indústria, incluindo a automação de processos de inspeção e controle de qualidade.

- **Robótica inteligente:** combina a inteligência artificial com a robótica para criar máquinas autônomas que podem interagir e realizar tarefas sem a necessidade de intervenção humana constante. Os robôs inteligentes podem ser programados para executar várias funções, desde tarefas industriais complexas até assistência em atividades diárias. Essa área está em constante evolução e promete um futuro com robôs cada vez mais avançados.

Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos são considerados materiais indesejados ou inúteis que sobraram das atividades humanas. Embora esteja principalmente no estado sólido, também pode estar na forma líquida como lodo. Existem três categorias principais de resíduos sólidos. O primeiro tipo são os resíduos sólidos urbanos, incluindo os resíduos domésticos, que são recolhidos nas residências e áreas públicas, bem como os resíduos comerciais e industriais, que são produzidos a partir das atividades do setor empresarial (como lojas, restaurantes e hotéis). O segundo tipo são os resíduos gerais de construção, que são compostos pelos resíduos e materiais excedentes resultantes das atividades de construção. O terceiro tipo são os resíduos especiais que requerem disposições especiais de eliminação ou manuseamento devido ao seu tamanho, quantidade e/ou características físicas ou químicas. Por exemplo, carcaças de animais, resíduos de saúde tratados e lamas de depuração são tipos especiais de resíduos que requerem métodos de eliminação especiais para proteger o público e o ambiente da contaminação (LI et al., 2023).

Cidades Inteligentes

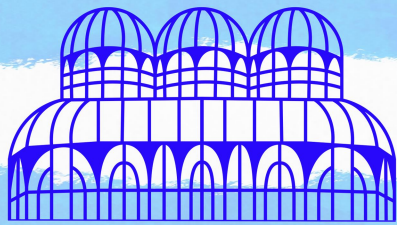
Giffinger e Gudrun (2010) definem as cidades inteligentes como aquelas que bem realizam a visão de futuro em várias vertentes – economia, pessoas, governança, mobilidade, meio ambiente e qualidade de vida -, e são construídas sobre a combinação inteligente de atitudes decisivas, independentes e conscientes dos atores que nelas atuam.

Weiss et al. (2017) registram que as cidades inteligentes são aquelas que usam tecnologias de *smart computing* para tornar os componentes das infraestruturas e serviços críticos – os quais incluem a administração da cidade, educação, assistência à saúde, segurança pública, edifícios, transportes e utilidades – mais inteligentes, interconectados e eficientes.

Assim, as cidades inteligentes vêm ganhando corpo no discurso internacional e nacional acerca do modelo de centro urbano que pode ser adotado para o enfrentamento desses riscos e vulnerabilidades climáticos, havendo, entretanto, grandes questionamentos quanto à sua aplicabilidade e à efetividade no combate a essas questões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A IA é uma tecnologia que avança rapidamente e está ganhando popularidade em vários setores, especialmente na gestão de resíduos. Fang et al. (2023) registram que a aplicação da IA na gestão de resíduos, incluem a transformação dos resíduos em energia, utilização de recipientes inteligentes, robôs para a triagem dos resíduos (figura 2), monitoramento e rastreamento dos resíduos, logística para destinação dos resíduos, eliminação dos resíduos, recuperação de materiais, eficiência do processo de gestão dos resíduos e redução de custos. Os autores destacam os benefícios da IA na logística para destinação dos resíduos em termos de redução da distância de transporte e economia de tempo, bem como melhoria da pirólise dos resíduos, estimativa da emissão de carbono, e conversão de energia. Eles, também, enfatizam o papel da IA no aumento da eficiência e na redução dos custos de identificação e triagem de resíduos nas cidades inteligentes



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

Li et al. (2023) analisaram a aplicação de robôs equipados com tecnologia de IA na classificação de resíduos em uma instalação de triagem na cidade de Shenzhen, na China. Os robôs foram usados para classificar resíduos plásticos, papel, metal e vidro. Os resultados indicaram que os robôs foram capazes de classificar os resíduos com precisão de 99%. Isso significa que apenas 1% dos resíduos foi classificado incorretamente. A aplicação de robôs na classificação de resíduos é uma tecnologia promissora que pode ajudar a reduzir a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários. Essa tecnologia pode contribuir para a economia de recursos naturais e a proteção do meio ambiente.



Figura 2: Robôs realizando a triagem de resíduos. Fonte: <https://forbes.com.br/forbes-tech/2020/11/como-a-amp-robotics-esta-mudando-a-industria-da-reciclagem-com-robos/>

Nasir e Al-Talib (2023) discutem os desafios na classificação de resíduos e o potencial da IA e das técnicas de processamento de imagens para enfrentá-los. Eles reconhecem as limitações dos atuais modelos de classificação de resíduos, e destacam a necessidade de melhorias na precisão e no tempo de execução para alcançar resultados precisos. Argumentam que a classificação precisa dos resíduos é crucial por vários motivos, incluindo permitir a reciclagem e a recuperação de recursos, salvaguardar o ambiente e a saúde humana e minimizar os custos de gestão de resíduos.

Arthur et al. (2024) analisaram o desenvolvimento de lixeiras inteligentes e avaliaram uma variedade de sensores implantados em diversos pontos (dentro e fora das lixeiras). Os sensores desempenham um papel fundamental na segregação e classificação dos tipos de resíduos. Os sensores, dentre outras funções, detectam emissões de gases perigosos através de um sensor de gás; detectam a presença de objetos metálicos usando um sensor de metal; reconhecem material plástico e papel usando um sensor capacitivo / indutivo; determinam o peso do resíduo por intermédio de um sensor de peso; e estabelecem condições climáticas através de um sensor de chuva ou umidade.

De acordo com Abeygunawardhana et al. (2020), a lixeira inteligente realiza a separação dos resíduos por meio de processamento de imagens e algoritmos de aprendizado de máquina. O sistema também realiza o monitoramento contínuo do nível de resíduos coletados por meio de sensores ultrassônicos. Um aplicativo móvel dedicado irá gerar as rotas ideais para os coletores de resíduos disponíveis coletarem as lixeiras cheias. Além disso, a lixeira inteligente tem como desafio reconhecer cada resíduo usando dados visuais como fonte.

Kjellstöm e Nilsson (2022) analisaram a aplicação de lixeiras inteligentes na cidade de Malmö, na Suécia. As lixeiras foram equipadas com sensores de peso e volume que enviam informações em tempo real para um sistema de gerenciamento. Os resultados obtidos ressaltam que as lixeiras inteligentes foram capazes de reduzir a quantidade de



viagens desnecessárias em até 25%. Isso equivale a uma economia de tempo e dinheiro para a cidade. Além disso, as lixeiras inteligentes contribuíram para a redução da poluição do ar e do ruído.

Anjos (2023) criou um sistema de apoio à decisão para auxiliar na gestão de resíduos sólidos urbanos na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, onde foram coletados dados referentes à geração de resíduos sólidos em 158 domicílios. Os dados coletados foram utilizados para construir modelos de predição por meio de técnicas de regressão e classificação. O sistema com base em algoritmos de inteligência artificial/aprendizado de máquina é capaz de realizar previsões precisas sobre a quantidade e a caracterização dos resíduos gerados, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

CONCLUSÕES

Os sistemas tradicionais de gerenciamento de resíduos são ineficientes e já não atendem as demandas das cidades. Soluções utilizando a IA contribuem para identificar os tipos de resíduos, na previsão da quantidade que será gerada e sugerindo as melhores formas de gerenciá-lo, reduzindo assim, a quantidade destinada aos aterros sanitários e seu impacto ambiental.

Além disso, a tecnologia também pode colaborar na transparência da comunicação e da prestação de contas, bem como na redução de custos. Plataformas de *blockchain*, por exemplo, podem ser utilizadas para criar registros imutáveis e transparentes de práticas corporativas, garantindo que as informações sejam confiáveis e auditáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABEYGUNAWARDHANA, A. G. D. T., SHALINDA, R. M. M. M., BANDARA, W. H. M. D., ANESTA, W. D. S., KASTHURIRATHNA, D., & ABEYSIRI, L. **AI-Driven Smart Bin for Waste Management**. In 2020 2nd International Conference on Advancements in Computing (ICAC) (Vol. 1, pp. 482-487). IEEE, (2020, December).
2. ANJOS, J. M. S. **Sistema de Apoio à Decisão Baseado em Inteligência Artificial para Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Dissertação de Mestrado, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufms.br/retrieve/283b3ac2-ec79-44c1-944c-4d8f7a3b04d9/Dissertacao_Joao_Marcos_Final.pdf. Acesso em: 06 abr 2024.
3. ARTHUR, M. P.; SHOBA, S.; PANDEY, A. A survey of smart dustbin systems using the IoT and deep learning. **Artificial Intelligence Review**, v. 57, n. 3, p. 56, 2024.
4. BIBRI, S. E.; KROGSTIE, J.; KABOLI, A.; ALAHI, A. Smarter eco-cities and their leading-edge artificial intelligence of things solutions for environmental sustainability: A comprehensive systematic review. **Environmental Science and Ecotechnology**, v. 19, p. 100330, 2024.
5. BODEN, M. A. **Inteligência artificial**. Turner, 2017.
6. CHEN, L.; CHEN, Z.; ZHANG, Y.; LIU, Y.; OSMAN, A. I.; FARGHALI, M.; YAP, P. S. Artificial intelligence-based solutions for climate change: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 21, n. 5, p. 2525-2557, 2023.
7. DE LIMA, G. E.; PERSCH, H. C. A. A era do antropoceno e as mudanças climáticas: A busca pela ecogovernamentalidade sob a perspectiva do biopoder de Michael Foucault. **Revista Catalana de Dret Ambiental**, v. 13, n. 2, 2022.
8. FANG, B.; YU, J.; CHEN, Z.; OSMAN, A. I.; FARGHALI, M.; IHARA, I.; YAP, P. S. Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 21, n. 4, p. 1959-1989, 2023.
9. GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008.
10. GIFFINGER, R.; GU DRUN, H. Smarter Cities Ranking: An Effective Instrument for the Positioning of Cities? **ACE: Architecture, City and Environment**, v. 12, p. 7-25, 2010
11. KJELLSTRÖM, P.; NILSSON, J. Smart bins: A case study on the use of artificial intelligence to optimize waste collection. **Waste Management**, 128, 436-444, 2022.
12. KONYA, A.; NEMATZADEH, P. Recent applications of AI to environmental disciplines: A review. **Science of The Total Environment**, v. 906, p. 167705, 2024.
13. LUDERMIR, Teresa Bernarda. Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina: estado atual e tendências. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 85-94, 2021.
14. LI, J.; WANG, Y.; WANG, Z.; WANG, X.; ZHANG, X. Application of artificial intelligence in waste sorting: A case study in China. **Journal of Cleaner Production**, 339, 126740, 2023.
15. LI, C.H.; LEE, T.T.; LAU, S.S.Y. Enhancement of Municipal Solid Waste Management in Hong Kong through Innovative Solutions: A Review. **Sustainability**, 15 (4), 3310, 2023.



16. NASIR, I.; AL-TALIB, G. A. A. Waste classification using artificial intelligence techniques: literature review. **Technium Romanian Journal of Applied Sciences and Technology** n.5, p. 49-59, 2023.
17. TEIXEIRA, J. **O que é inteligência artificial**. E-galáxia, 2019.
18. YATOO, A. M.; HAMID, B.; SHEIKH, T. A.; ALI, S.; BHAT, S. A.; RAMOLA, S.; KUMAR, S. Global perspective of municipal solid waste and landfill leachate: generation, composition, eco-toxicity, and sustainable management strategies. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-30, 2024.
19. WEISS, M. C.; BERNARDES, R. C.; CONSONI, F. L. Cidades inteligentes: casos e perspectivas para as cidades brasileiras. **Revista tecnológica da Fatec americana**, v. 5, n. 1, p. 01-13, 2017.