

CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026



## MODELAGEM ESPACIAL DO DESCARTE IRREGULAR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: REVISÃO SISTEMÁTICA E ESTADO DA ARTE

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.9.26.IV-001>

**Bruna Andrade Ferreira (\*), Raquel Naiara Fernandes Silva**

\* Universidade Federal de Uberlândia – MG, [brunaandrade@ufu.br](mailto:brunaandrade@ufu.br).

### RESUMO

O descarte irregular de resíduos sólidos urbanos configura-se como problema socioambiental persistente, associado à vulnerabilidade socioeconômica, déficits de infraestrutura e fragilidade da governança territorial. Esta revisão sistemática analisou 43 estudos internacionais que modelam espacialmente o descarte irregular, identificados nas bases Scopus, Web of Science e Engineering Village, seguindo o protocolo PRISMA. A *string* de busca combinou termos relacionados a descarte ilegal e à modelagem espacial (SIG, sensoriamento remoto e estatística espacial), resultando em 298 registros iniciais, 157 após a remoção de duplicados e triagem por título e resumo, e 43 artigos elegíveis para análise aprofundada. Os resultados indicam forte concentração da produção na China, Índia, Itália e África do Sul, com participação moderada do Brasil e baixa representação da América Latina. Predominam abordagens descritivas baseadas em SIG, estatística espacial e sensoriamento remoto, com uso ainda incipiente de algoritmos de aprendizado de máquina para previsão de áreas suscetíveis. Identificam-se lacunas em padronização metodológica, integração multidimensional de variáveis (socioeconômicas, ambientais e morfológicas) e aplicação em cidades médias, especialmente latino-americanas. Conclui-se que o campo se encontra em transição de uma cartografia predominantemente descritiva para modelos preditivos integrados, demandando protocolos replicáveis, validação espaço temporal e maior alinhamento com a governança urbana.

**PALAVRAS-CHAVE:** SIG, sensoriamento remoto, infraestrutura urbana, governança urbana.

### ABSTRACT

Illegal dumping of municipal solid waste constitutes a persistent socio-environmental problem associated with socioeconomic vulnerability, infrastructure deficits, and weak territorial governance. This systematic review analyzed 43 international studies that spatially model illegal dumping, identified in the Scopus, Web of Science, and Engineering Village databases, following the PRISMA protocol. The search string combined terms related to illegal dumping and spatial modeling (GIS, remote sensing, and spatial statistics), resulting in 298 initial records, 157 after duplicate removal and title and abstract screening, and 43 articles eligible for in-depth analysis. The results indicate a strong concentration of scientific production in China, India, Italy, and South Africa, with moderate participation from Brazil and low representation from Latin America. Descriptive approaches based on GIS, spatial statistics, and remote sensing predominate, while the use of machine learning algorithms to predict susceptible areas remains incipient. Gaps were identified in methodological standardization, multidimensional integration of variables (socioeconomic, environmental, and morphological), and application in medium-sized cities, particularly in Latin America. It is concluded that the field is transitioning from predominantly descriptive cartography toward integrated predictive models, requiring replicable protocols, spatiotemporal validation, and stronger alignment with urban governance.

**KEY WORDS:** GIS, remote sensing, urban infrastructure, urban governance.

### INTRODUÇÃO

O descarte irregular de resíduos sólidos urbanos (RSU) é reconhecido como uma das manifestações mais visíveis da desigualdade socioambiental nas cidades, resultando em degradação paisagística, contaminação de solos e cursos d'água, proliferação de vetores e aumento de riscos à saúde pública (Nagpure, 2019; Ngalo, Thondhlana, 2023). Em geral, os pontos de descarte concentram-se em áreas de vulnerabilidade socioeconômica, vazios urbanos e franjas periurbanas, onde a atuação do poder público é limitada e a infraestrutura urbana apresenta fragilidades (Sedova, 2016; Oyedotun et al., 2021).

Nas últimas duas décadas, o avanço dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), do sensoriamento remoto e da estatística espacial ampliou significativamente a capacidade de mapear, analisar e monitorar a distribuição espacial do



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



descarte irregular. Estudos em contextos diversos passaram a utilizar mapas de calor, análise de autocorrelação espacial, modelos de regressão espacial e, mais recentemente, algoritmos de aprendizado de máquina para identificar fatores condicionantes, áreas de risco e padrões espaço-temporais do fenômeno (Fan et al., 2016; Yang, W.; Fan; Desouza, 2019; Xiong et al., 2022; Hojnik et al., 2025).

Apesar desse avanço técnico, ainda inexistente uma sistematização crítica que consolide métodos, variáveis, escalas de análise e estratégias de validação predominantes na modelagem espacial do descarte irregular de RSU. A literatura permanece fragmentada em estudos de caso isolados, com baixa comparabilidade e limitada capacidade de generalização interurbana. Neste contexto, um mapeamento do estado da arte torna-se fundamental para compreender a evolução do campo, explicitar tendências analíticas e identificar lacunas estruturais.

Este artigo tem por objetivo revisar sistematicamente a literatura internacional sobre modelagem espacial do descarte irregular de resíduos sólidos urbanos, analisando: padrões geográficos da produção científica; dados e variáveis empregados; métodos de SIG, estatística espacial, sensoriamento remoto e aprendizado de máquina utilizados; e principais lacunas e direções de pesquisa. Ao consolidar evidências de 43 estudos, esta pesquisa oferece subsídios para o aprimoramento de protocolos metodológicos e para o fortalecimento da governança territorial em resíduos sólidos.

## METODOLOGIA

A revisão foi conduzida de acordo com as diretrizes do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA), reconhecido internacionalmente pela robustez metodológica, transparência e reprodutibilidade na síntese de evidências científicas (Page et al., 2021; Elsmann et al., 2024), contemplando as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, como descritas na Figura 1. Foram consultadas as bases Scopus, Web of Science e Engineering Village, acessadas via Portal de Periódicos da CAPES, por serem reconhecidas pela abrangência multidisciplinar e pela indexação de periódicos de alto impacto na área de Engenharia, Geociências e Meio Ambiente.

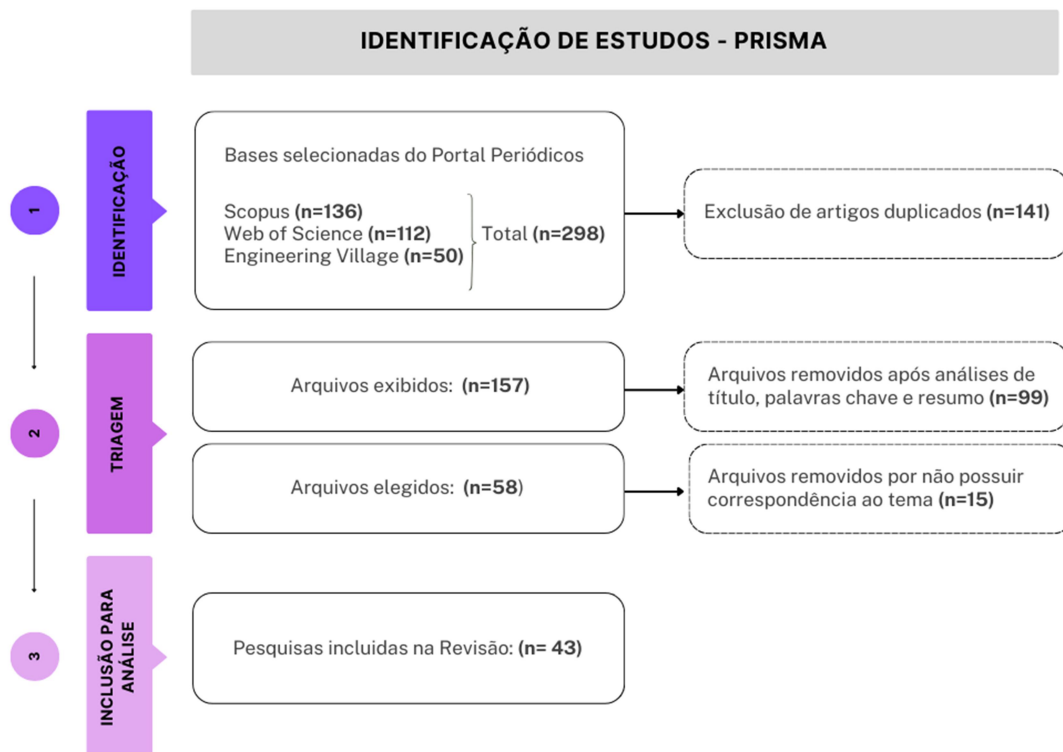
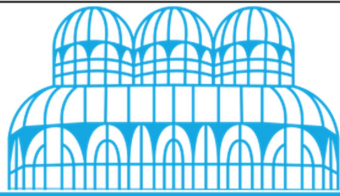


Figura 1: Protocolo PRISMA. Fonte: Autoras (2026)



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



A *string* de busca combinou termos relacionados ao descarte irregular (“*illegal dumping*”, “*fly-tipping*”, “*open dumping*”, “*clandestine dump\**”, “*unauthorized disposal*”, “*irregular disposal*”) com termos associados à modelagem espacial (“*GIS*”, “*spatial*”, “*geographic*”, “*mapping*”, “*remote sensing*”), utilizando operadores lógicos AND/OR. Essa estratégia buscou capturar tanto estudos focados diretamente em descarte ilegal quanto trabalhos sobre acúmulo de resíduos e pontos de disposição informal em contextos urbanos.

Foram considerados elegíveis artigos publicados em periódicos científicos revisados por pares; publicados nos últimos 10 anos, redigidos em inglês ou português; que abordassem explicitamente o descarte irregular de resíduos sólidos urbanos ou acúmulo de resíduos em áreas não autorizadas; e que empregassem métodos de análise espacial, sensoriamento remoto ou modelagem estatística voltada à identificação, explicação ou previsão da distribuição espacial do fenômeno. Excluíram-se estudos estritamente normativos, análises puramente qualitativas sem componente espacial e trabalhos voltados exclusivamente à gestão formal de aterros, lixões ou estações de transbordo.

O processo de triagem resultou na identificação de 298 registros, dos quais 141 foram removidos por duplicidade. Após leitura de título, palavras-chave e resumo, 99 estudos foram excluídos por não apresentarem aderência temática, restando 58 artigos para leitura completa. Destes, 15 foram excluídos por tratarem de resíduos industriais, mineração ou outros temas não centrados em RSU urbano, totalizando 43 estudos incluídos na revisão sistemática.

## RESULTADOS

### • Distribuição Espacial Da Produção Científica

A análise geográfica, ilustrada na Figura 2, evidencia forte concentração de estudos na China, com sete publicações voltadas à modelagem espacial de dumping ilegal e acúmulo de resíduos em contextos urbanos e periurbanos (Fan et al., 2016; Yang, W.; Fan; Desouza, 2019; Xiong et al., 2022; Zhang; Ma, 2024; Yang, B. et al., 2025; Zhang; Ma; Jiang, 2025; Lu et al., 2025). Índia, Itália e África do Sul aparecem em seguida, com quatro estudos cada, abordando desde a quantificação de resíduos ilegais em Delhi (Nagpure, 2019) até a análise de vulnerabilidade em assentamentos informais de Cape Town (Jakeni et al., 2024) e o desenvolvimento de plataformas de monitoramento na Itália (Tora et al., 2024).

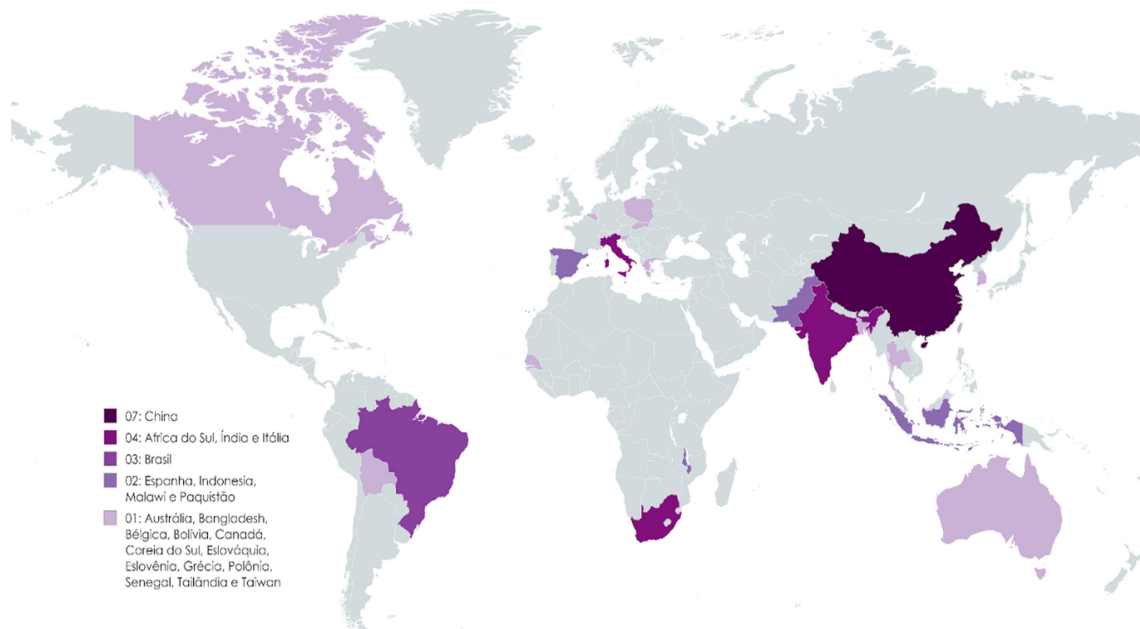


Figura 2: Distribuição espacial da produção científica. Fonte: Autoras (2026).

O Brasil apresenta três estudos focados em irregularidades na disposição de resíduos e mapeamento de pontos de descarte, incluindo uma proposta de *design thinking* aplicada ao caso de Uberlândia (Michelotto; Araujo Sobrinho, 2018), o mapeamento de pontos de disposição de resíduos de construção em Caruaru (Junior; da Silva; da Cunha Vieira



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Bello, 2022) e o uso de drones para detecção automática de resíduos em áreas de difícil acesso (Musci et al., 2024). Países com apenas um estudo, como Austrália, Bolívia, Canadá, Eslovênia, Grécia, Senegal, Taiwan e Tailândia, configuram uma periferia científica, ainda que apresentem contribuições metodologicamente relevantes para a identificação de áreas de risco e apoio à gestão.

A baixa presença de pesquisas na América Latina, com destaque apenas para Brasil e Bolívia, revela lacuna importante em regiões marcadas por rápida urbanização, informalidade territorial e precariedade da gestão de resíduos.

#### • Evolução Temporal

A série temporal de publicações (Figura 3) mostra produção discreta em 2016, com três artigos, e crescimento gradual a partir de 2018. O período 2019–2022 consolida uma primeira onda de estudos que combinam SIG, estatística espacial e sensoriamento remoto, destacando-se trabalhos na China, Polônia e Paquistão que analisam efeitos espaço-temporais do descarte e utilizam indicadores ambientais derivados de imagens de satélite (Jakiel et al., 2019; Mahmood et al., 2019).

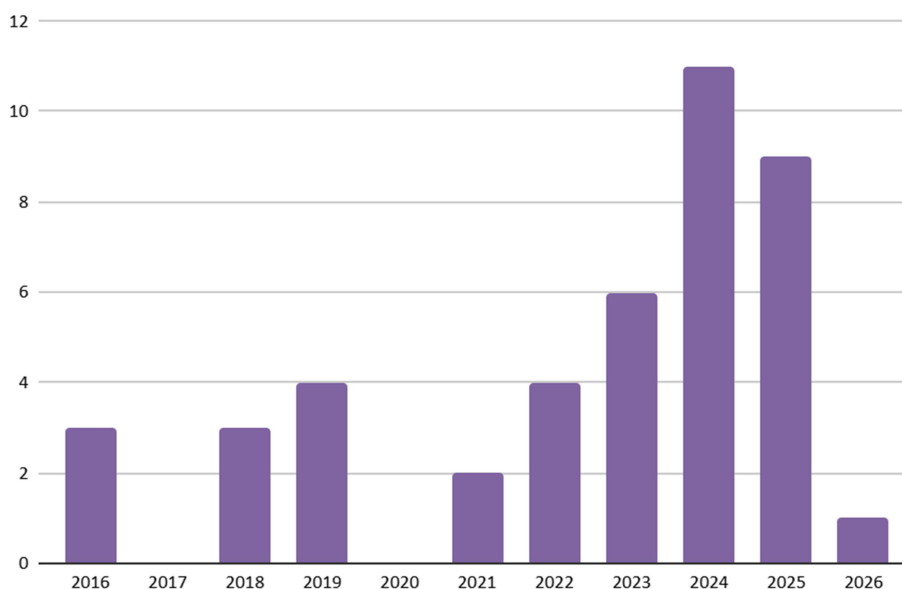


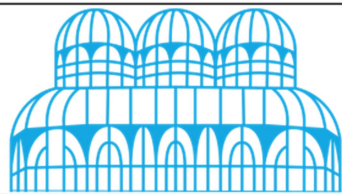
Figura 3: Série temporal de publicações nos últimos 10 anos. Fonte: Autoras (2026)

A partir de 2023 observa-se inflexão quantitativa e qualitativa, com aumento expressivo do número de publicações (11 artigos em 2024 e nove em 2025) e expansão do uso de algoritmos de aprendizado de máquina, aprendizado profundo e abordagens híbridas que integram dados de imagens, redes neurais e informação socioeconômica (Zhang; Ma, 2024; Gibellini et al., 2025; Yang, B. et al., 2025; Zhang; Ma; Jiang, 2025; Hojnik et al., 2025).

A evolução temporal observada não se limita ao aumento do número de publicações, mas reflete uma mudança qualitativa nas abordagens de modelagem espacial do descarte irregular de RSU, que migram gradualmente de técnicas descritivas clássicas para modelos explicativos e, mais recentemente, preditivos baseados em aprendizado de máquina. Esse movimento temporal se articula diretamente com a configuração de cinco grandes eixos temáticos identificados na análise de palavras-chaves: SIG e planejamento territorial, sensoriamento remoto, estatística espacial, aprendizado de máquina e gestão/políticas públicas, que podem ser compreendidos como uma taxonomia de abordagens atualmente presentes no campo.

#### • Periódicos e impacto científico da literatura revisada

A revisão sistemática identificou 43 artigos publicados em 28 periódicos distintos, distribuídos em uma ampla gama de qualidade acadêmica, como ilustrado na Figura 4, conforme fator de impacto (FI) JCR/Scopus 2023–2024 (Journal Citation Reports; Scimago Journal Rank SJR; 2024). Os periódicos de maior impacto (IF > 7) concentram-se em Resources, Conservation and Recycling (IF 10,9), Waste Management (IF 7,1), Journal of Cleaner Production (IF 10), Ecological Indicators (IF 7,4) e Remote Sensing of Environment (IF 11,4), que juntos respondem por 27,9% dos



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



artigos, evidenciando a consolidação da modelagem espacial de descarte irregular em revistas de referência mundial em gestão de resíduos e sensoriamento remoto.

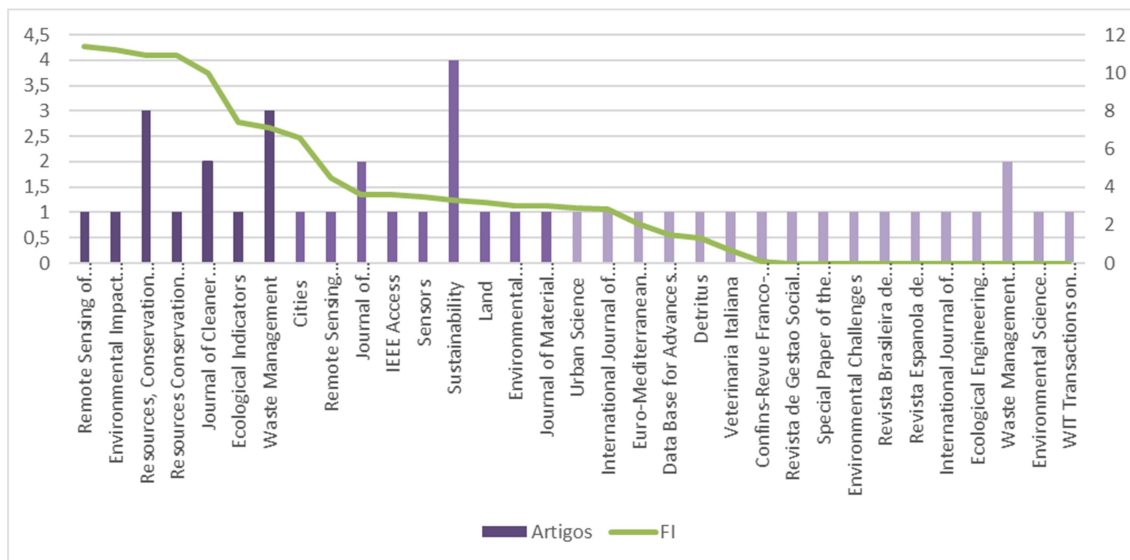


Figura 4: Distribuição dos artigos por periódico e Fator de Impacto (2023–2024). Fonte: Autoras (2026)

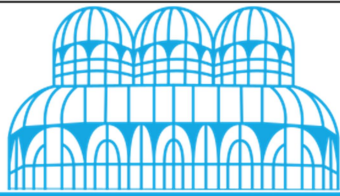
Já os periódicos consolidados de médio impacto (IF 3–7) como Sustainability (MDPI) (IF 3,3), Cities (IF 6,6), Environmental Science and Pollution Research (IF 5,8), IEEE Access (IF 3,6) e Journal of Material Cycles and Waste Management (IF 3) concentram 30,2% das publicações, formando o núcleo metodológico mais consistente da revisão, com forte presença de aplicações de GWR, AHP-GIS e aprendizado de máquina em contextos urbanos reais.

Em relação às revistas regionais e emergentes brasileiras (Revista Brasileira de Geografia Física, Revista de Gestão Social e Ambiental, Confins) e periódicos de menor impacto ou sem JCR (IF < 3) somam 41,9%, contribuindo principalmente com estudos de caso locais (Brasil, África do Sul, Ásia) e aplicações práticas em contextos de cidades médias e países em desenvolvimento.

Os resultados demonstram que a modelagem espacial do descarte irregular está amplamente consolidada em periódicos de alto impacto, evidenciando maturidade científica e reconhecimento internacional do tema. Ao mesmo tempo, a expressiva participação de revistas regionais e emergentes revela forte aplicabilidade prática e relevância em contextos urbanos de países em desenvolvimento.

#### • Análise Temática E Metodológica

A análise de co-ocorrência de palavras-chave, realizada por meio do *software* VOSviewer, e apresentada na Figura 5, permitiu identificar cinco clusters temáticos predominantes na literatura: (1) SIG e planejamento territorial; (2) sensoriamento remoto; (3) estatística espacial; (4) aprendizado de máquina; e (5) gestão e políticas públicas. Os agrupamentos foram definidos a partir da intensidade das conexões entre termos e da proximidade semântica observada na rede bibliométrica.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

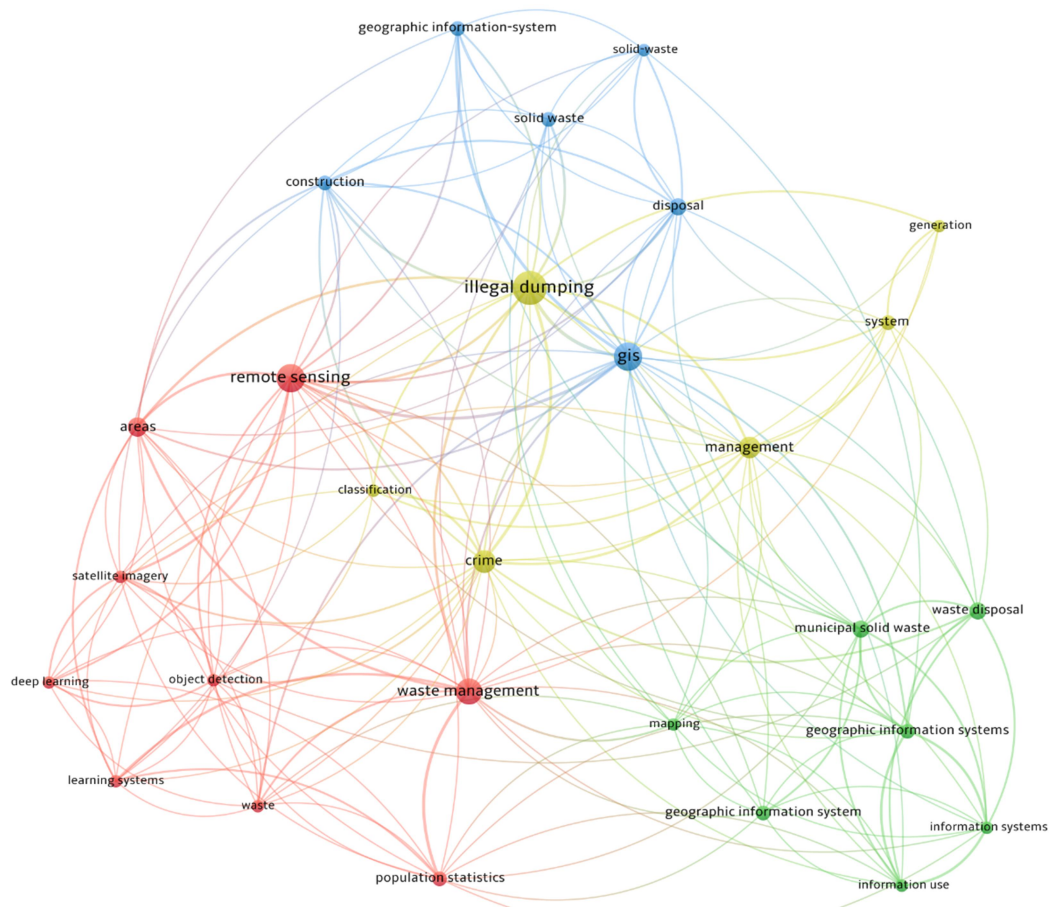


Figura 5: Correlações das Palavras-chaves. Fonte: Autoras (2026)

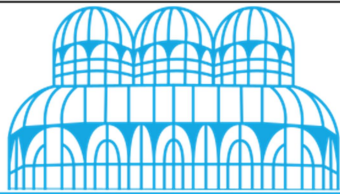
O cluster (1) SIG e planejamento territorial reúne trabalhos que utilizam SIG como plataforma central para integração de dados e apoio ao planejamento preventivo, muitas vezes empregando métodos multicritério. A análise de seleção de áreas para disposição controlada de resíduos ou identificação de zonas de vulnerabilidade é frequente, com uso de técnicas como *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *weighted overlay*.

O estudo de Seeboonruang (2016) combina camadas de uso e ocupação do solo, proximidade a vias e corpos d'água e informações de campo para avaliar o impacto de pontos de despejo em cavas de empréstimo, atribuindo pesos a critérios ambientais e de acessibilidade. Em contexto semelhante, Golder e Alamgir (2018) aplicam SIG para avaliar rotas de coleta e áreas suscetíveis ao descarte informal em função de ineficiências do serviço regular.

Do ponto de vista metodológico, esses estudos caracterizam-se por uma abordagem predominantemente estática, focada em mapear condições atuais ou potenciais sem modelagem dinâmica ou preditiva. A capacidade explicativa é moderada, na medida em que a atribuição de pesos em métodos multicritério depende de julgamento de especialistas, podendo introduzir subjetividades. A ausência de validação formal, como comparação entre áreas classificadas como de alto risco e ocorrência real de pontos de descarte, é um fator limitante do uso dos resultados para previsão de novos eventos.

O segundo cluster abrange estudos que utilizam imagens de satélite de média e alta resolução, bem como modelos digitais de elevação (MDE) e dados térmicos, para detectar direta ou indiretamente áreas de descarte irregular. O uso de séries Landsat e Sentinel é frequente, seja para derivar índices espectrais (NDVI, NDBI, indicadores bio-térmicos) ou para alimentar algoritmos de classificação supervisionada.

No Paquistão, Mahmood et al. (2019) combina temperatura de superfície, índices de vegetação e informações de campo para identificar áreas com probabilidade elevada de descarte dos resíduos, demonstrando que a assinatura térmica de algumas áreas permite diferenciar entre depósitos ativos e inativos. Em contexto europeu, Sánchez-Fernández; Arenas-García e Gutiérrez Gallego (2023) explora modelos de elevação LiDAR para identificar pilhas de resíduos de



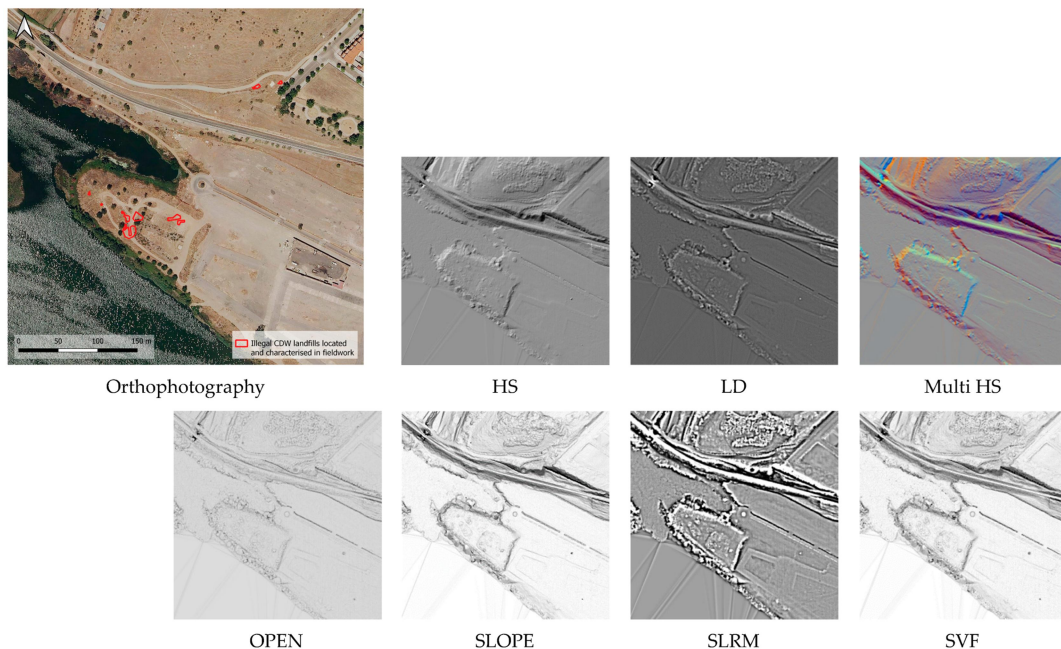
CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



construção e demolição a partir de discontinuidades morfológicas no terreno, integrando interpretação visual e classificação orientada a objetos, como mostra a Figura 6.



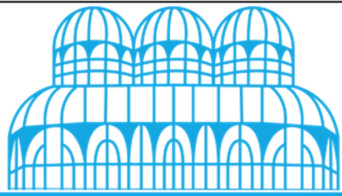
**Figura 6: Resultados dos modelos de elevação LiDAR obtidos em terreno urbano. Fonte: Sánchez-Fernández; Arenas-García e Gutiérrez Gallego (2023)**

Embora esses estudos avancem na automatização da detecção de áreas degradadas, observa-se pouca integração com variáveis socioeconômicas e de infraestrutura urbana, o que restringe a compreensão dos mecanismos socioespaciais que produzem o descarte irregular. Em geral, as análises concentram-se no reconhecimento de feições físicas, sem incorporar explícita e sistematicamente fatores como renda, densidade populacional, déficit de coleta e regime de propriedade da terra.

O cluster (3) de estatística espacial é composto por estudos que aplicam medidas de autocorrelação e técnicas de identificação de *hotspots* para descrever a distribuição do descarte ilegal e explorar relações com variáveis explicativas. *Kernel Density Estimation* (KDE), *Moran's I* global e local e o índice *Getis-Ord  $G_i^*$*  são os métodos mais recorrentes, frequentemente combinados com regressão espacial ou Geographically Weighted Regression (GWR).

Na Polônia, Jakiel et al. (2019) aplicaram o estimador de densidade Kernel (KDE) e o índice de Moran (*Moran's I*) para mapear a concentração de pontos de descarte em um parque natural, relacionando-os à acessibilidade por trilhas e à proximidade de áreas destinadas ao uso recreativo.

Em contexto urbano na China, Yang, W., Fan e Desouza (2019) utilizaram modelos espaciais para analisar de que forma a disponibilidade e a qualidade da coleta formal influenciam a probabilidade de ocorrência de descarte irregular em diferentes bairros. Na representação gráfica (Figura 7), os bairros são indicados por círculos, onde círculos preenchidos representam comunidades, enquanto círculos vazios indicam ocorrências de descarte ilegal de lixo. Em etapa posterior, os autores integraram efeitos espaciais e temporais com base na distribuição das localizações das comunidades e dos pontos de descarte, utilizando linhas pretas para conectar cada comunidade aos respectivos casos identificados de despejo ilegal (Figura 8).



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

# 9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

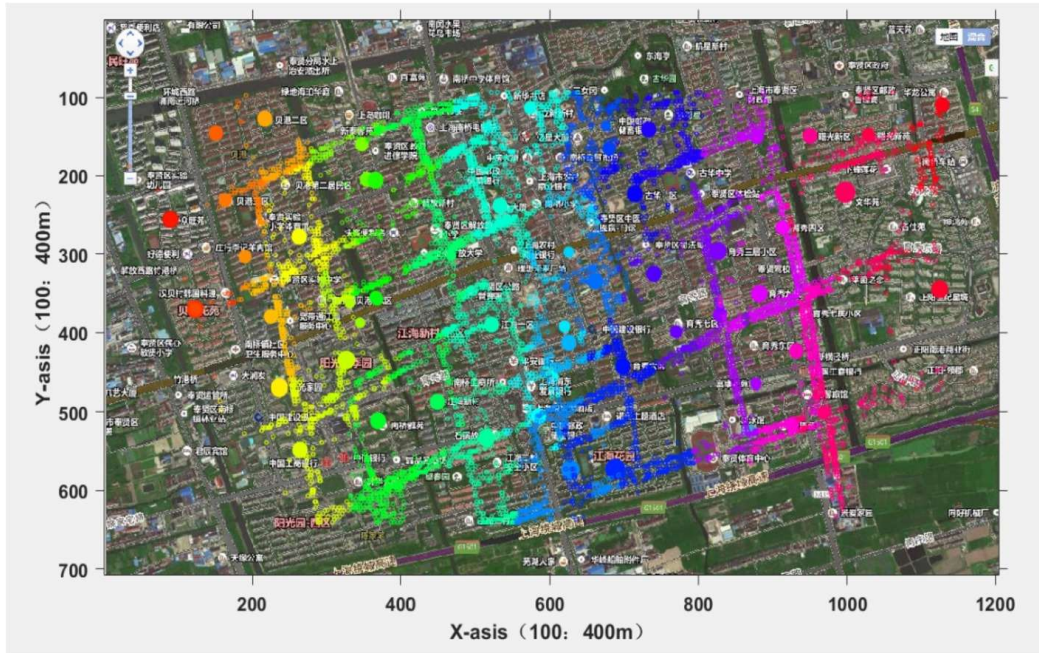


Figura 7: Distribuição de locais comunitários e locais de descarte ilegal de lixo em Xangai, China. Fonte: Yang, W.; Fan e Desouza (2019)

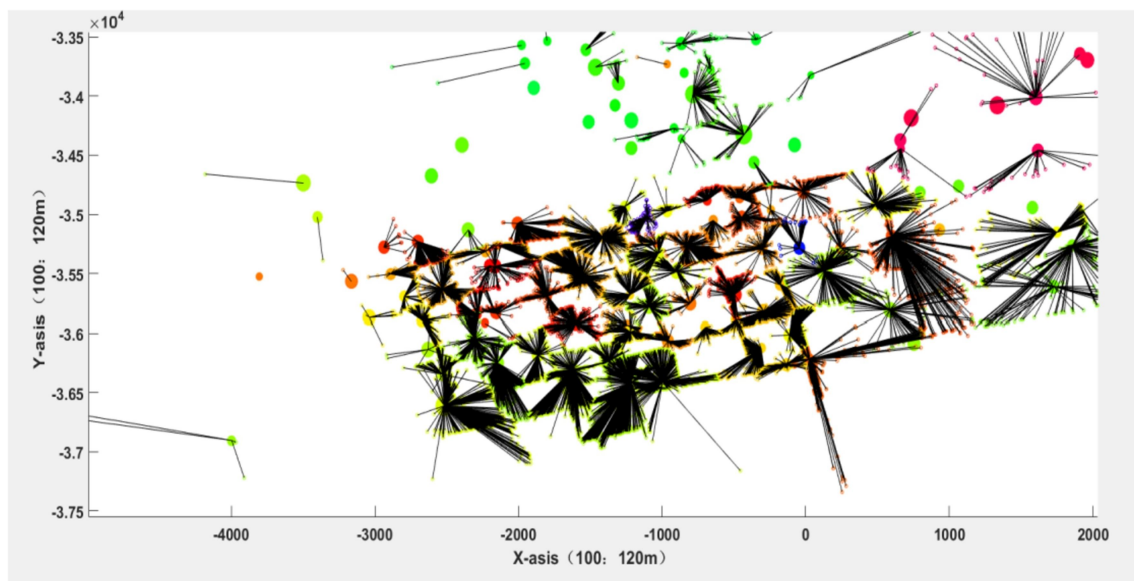
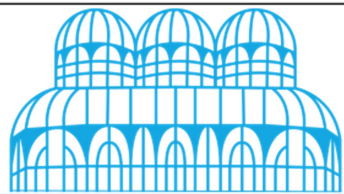


Figura 8: Distribuição das comunidades com casos associados de despejo ilegal de lixo em Xangai, China. Fonte: Yang, W.; Fan e Desouza (2019)

Em países em desenvolvimento, trabalhos como Syafrudin et al. (2023) e Irshad; Bose e Narmada (2026) empregam regressão espacial e GWR para relacionar a densidade de pontos de descarte a indicadores de pobreza, densidade populacional, distância a vias e proximidade de cursos d'água, evidenciando forte associação entre vulnerabilidade social e ocorrência de descarte.

Apesar do avanço analítico, esses estudos permanecem ancorados em uma lógica majoritariamente descritiva e explicativa, voltada a compreender fatores associados ao fenômeno, mas sem estruturar modelos explicitamente preditivos ou mecanismos de validação cruzada em diferentes contextos espaciais.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



O cluster (4) representa a vertente mais recente e tecnicamente sofisticada da literatura. Aqui se inserem estudos que utilizam algoritmos de *Random Forest*, *Support Vector Machines* (SVM), *Decision Trees*, redes neurais convolucionais e abordagens AutoML, muitas vezes integrando dados de imagens de alta resolução, street view, denúncias de cidadãos e informações socioeconômicas.

Na China, Xiong et al. (2022) emprega *Random Forest* para identificar a importância relativa de variáveis como densidade populacional, renda, densidade de pontos de coleta e acessibilidade viária na geração de depósitos de resíduos volumosos, utilizando dados de denúncias e vistorias em campo. Lu et al. (2025) avança ao integrar *Random Forest* ponderado geograficamente, permitindo que a importância das variáveis varie espacialmente, o que reforça o caráter relacional do fenômeno.

Na Itália, Marrocco et al. (2024) e Gibellini et al. (2025) demonstram o potencial de redes neurais para identificar micro depósitos em imagens multisensores, explorando transferência de aprendizado e pipelines automatizados. Ainda no campo da visão computacional, Zhang e Ma (2024), na China, combina detecção de objetos baseada em aprendizado profundo com rotinas de AutoML para ajuste de hiper parâmetros, alcançando elevada acurácia na identificação de lixões a céu aberto, como mostra a Figura 9.

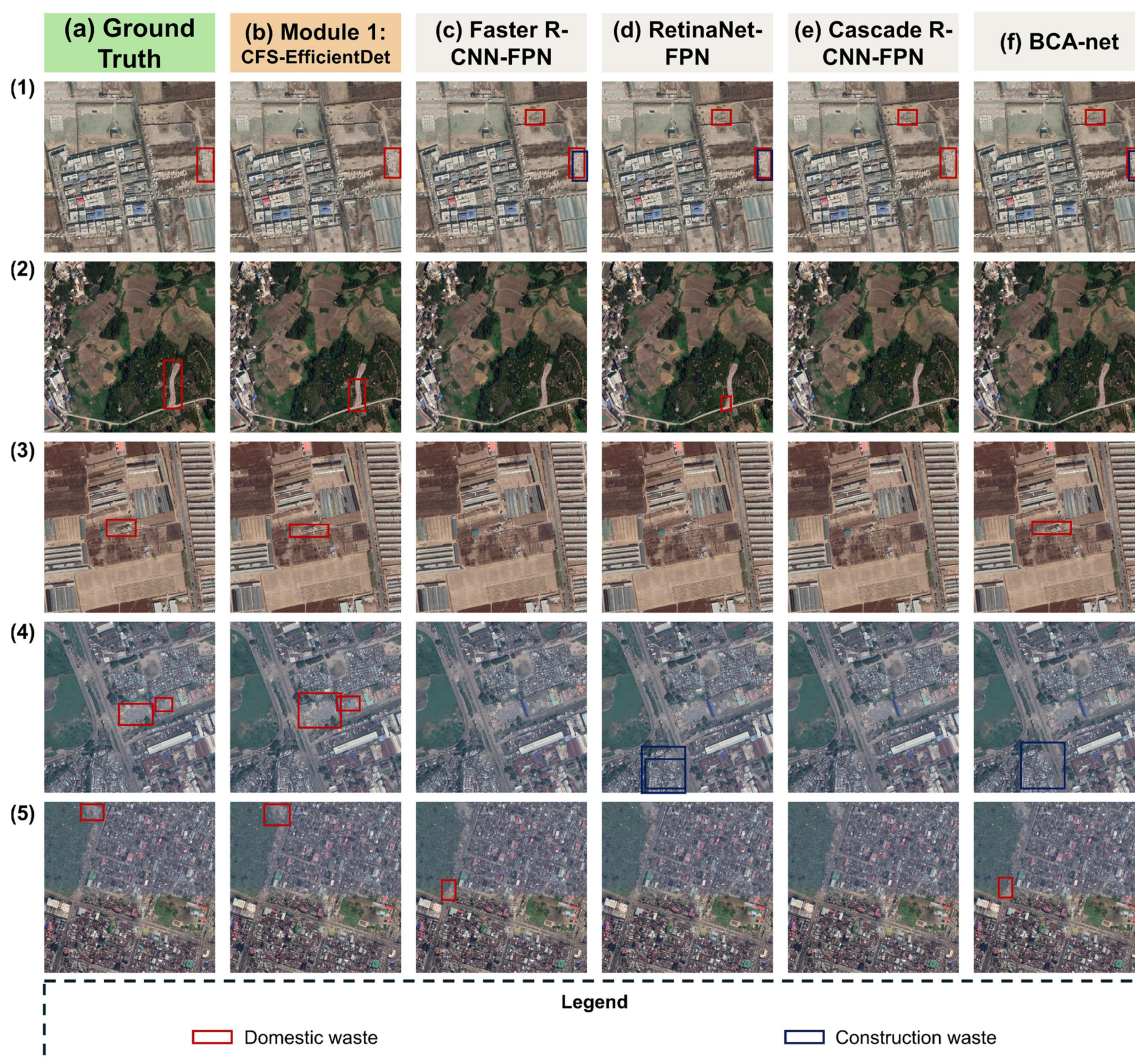
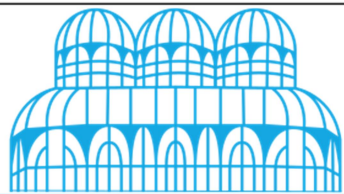


Figura 9: Visualização comparativa dos resultados de detecção de cinco modelos diferentes em diversas paisagens de Shenzhen, China. Fonte: Zhang e Ma (2024)

Há também iniciativas que integram dados de *street view* e modelos de linguagem para contextualizar o ambiente urbano, como Yang et al. (2025) e Zhang, Ma e Jiang (2025), que combinam imagens panorâmicas, descrições textuais e indicadores socioeconômicos para identificar e classificar pontos críticos.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Embora esses estudos representem um salto técnico, a revisão evidencia limitações recorrentes, como o uso de amostras relativamente pequenas, muitas vezes restritas a uma única cidade e a períodos curtos; a ausência de validação espacial cruzada, com modelos testados apenas em subconjuntos aleatórios do próprio município; e baixa transparência quanto à interpretabilidade dos modelos, com discussão limitada sobre vieses de dados, importância das variáveis e transferibilidade dos resultados para outros contextos urbanos.

Já o último cluster agrupa estudos que, embora utilizem ferramentas espaciais, enfatizam dimensões institucionais, perceptivas e de governança. Sedova (2016) discute fatores socioeconômicos, culturais e institucionais que explicam o descarte ilegal, relacionando-os à efetividade da fiscalização e à provisão de serviços de coleta. Na África do Sul, Oyedotun et al. (2021) propõe mudanças na gestão nacional a partir de análise multiescalar dos fluxos de resíduos e da prevalência de descarte em áreas periféricas.

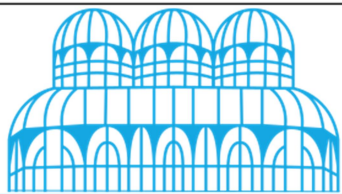
Em Senegal, Scharf et al. (2025) demonstra o potencial da ciência cidadã, combinando denúncias georreferenciadas com dados de sensoriamento remoto para construir mapas de suscetibilidade, enquanto na Bélgica, Guyot; Thomas e Vanwambeke (2025) analisa dados de reclamações de moradores para inferir padrões de descarte e avaliar estratégias de fiscalização.

Apesar de aproximar a temática das políticas públicas, esses trabalhos ainda apresentam limitada integração com modelos quantitativos preditivos. Em muitos casos, o uso de SIG restringe-se à visualização de dados e à análise descritiva, sem explorar plenamente o potencial da modelagem espacial para subsidiar decisões de priorização de áreas de intervenção, alocação de recursos e desenho de políticas de justiça ambiental.

Esses cinco clusters foram interpretados neste estudo como uma taxonomia de abordagens de modelagem espacial do descarte irregular de RSU, organizada a partir de três critérios principais: o papel desempenhado pelas técnicas espaciais (descrição, explicação ou previsão); o tipo predominante de dados mobilizados (cartografia temática, imagens de sensoriamento remoto, indicadores socioeconômicos, dados participativos); e o grau de articulação com processos decisórios e instrumentos de governança urbana. Assim, os clusters representam diferentes grupos de métodos, com implicações distintas para o diagnóstico, o monitoramento e a intervenção preventiva, como mostra o Quadro 1.

Grupo / cluster	Objetivo principal	Tipos de dados predominantes	Exemplos de estudos representativos
SIG e planejamento territorial	Diagnóstico espacial e apoio ao planejamento	Camadas de uso do solo, rede viária, corpos d'água, trabalho de campo	Seeboonruang (2016); Golder e Alamgir (2018)
Sensoriamento remoto	Deteção direta/indireta de áreas de descarte	Imagens Landsat/Sentinel, MDE, índices espectrais e térmicos	Mahmood et al. (2019); Sánchez-Fernández et al. (2023)
Estatística espacial	Descrição de padrões e fatores associados	Pontos de dumping, variáveis socioeconômicas e de acessibilidade	Jakiel et al. (2019); Yang, W.; Fan; Desouza (2019)
Aprendizado de máquina	Previsão de áreas suscetíveis e classificação	Denúncias/inspeções, imagens de alta resolução, indicadores socioeconômicos	Xiong et al. (2022); Zhang; Ma (2024); Lu et al. (2025)
Gestão e políticas públicas/governança	Integração com instrumentos de gestão e decisão	Dados institucionais, denúncias cidadãs, bases administrativas	Sedova (2016); Scharf et al. (2025); Guyot; Thomas; Vanwambeke (2025)

Quadro 1: Taxonomia de abordagens de modelagem espacial do descarte irregular de RSU. Fonte: Autoras (2026)



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



A Tabela 1 apresenta síntese dos principais métodos identificados, sua frequência aproximada entre os 43 estudos analisados, com base na contagem de artigos por categoria, admitindo que alguns estudos utilizam mais de um método, nível de sofisticação analítica e capacidade preditiva.

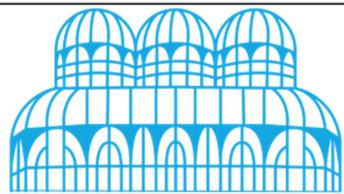
Categoria / Método	Frequência observada	Nível de sofisticação	Capacidade preditiva	Cenário de Uso
Kernel Density Estimation (KDE)	Alta ( $\approx 40\%$ dos estudos)	Baixa – método exploratório de densidade	Não preditivo (mapeamento retrospectivo)	Diagnóstico rápido, identificação de hotspots, sensibilização de gestores
Moran's I / Getis-Ord $G_i^*$	Alta ( $\approx 40\%$ )	Média – análise de autocorrelação/localização de hotspots	Não preditivo, foco em diagnóstico	Delimitação de áreas críticas, apoio a planejamento tático
Regressão espacial / GWR	Média ( $\approx 25\%$ )	Média-Alta – modelagem de relações espaciais	Parcialmente preditivo, com foco explicativo	Compreensão de fatores condicionantes, avaliação de cenários de política
Métodos multicritério (AHP, weighted overlay)	Média ( $\approx 25\%$ )	Média – integração de diversos critérios via pesos	Baixa, dependente de calibração empírica	Priorização de áreas, escolha de locais, apoio a decisão participativa
Aprendizado de máquina (RF, SVM, árvores, aprendizado profundo, GWR-RF)	Crescente ( $\approx 30\%$ , concentrado após 2022)	Alta – modelagem não linear e de interações complexas	Sim, com potencial elevado de previsão de risco	Modelagem de risco, previsão de novas áreas suscetíveis, monitoramento contínuo

Destacam-se métodos exploratórios e diagnósticos, como KDE e indicadores de autocorrelação espacial, amplamente utilizados para identificar padrões e *hotspots*, embora sem capacidade preditiva. Técnicas com maior sofisticação analítica, como regressões espaciais e métodos multicritério, aparecem com frequência intermediária, oferecendo potencial explicativo, ainda que limitado em termos de previsão. Destaca-se, contudo, o crescimento recente de abordagens baseadas em aprendizado de máquina, que apresentam maior capacidade de modelagem de relações não lineares e interações complexas, configurando a principal frente de avanço preditivo na literatura analisada.

## DISCUSSÕES

### • O descarte irregular como fenômeno socioespacial estrutural

A síntese dos 43 estudos indica que o descarte irregular de RSU não deve ser compreendido apenas como efeito de comportamentos individuais ou de falhas pontuais da limpeza urbana, mas como expressão socioespacial de desigualdades estruturais. Em contextos tão distintos quanto Eslováquia, África do Sul, Índia e China, as análises convergem ao evidenciar correlações entre baixa renda, alta densidade populacional, ausência de infraestrutura e maior incidência de dumping (Sedova, 2016; Nagpure, 2019; Ngalo; Thondhlana, 2023; Irshad; Bose; Narmada, 2026). Em megacidades emergentes como Beijing, Delhi e Hong Kong, os pontos de descarte se concentram em periferias, vazios urbanos, áreas de expansão informal e bordas de rodovias, onde o controle territorial é mais frágil e o custo da transgressão normativa tende a ser menor (Yang, W.; Fan; Desouza, 2019; Xiong et al., 2022; Yang et al., 2025). Em



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



idades médias brasileiras, como Uberlândia e Caruaru, observam-se padrões semelhantes, com acúmulo de resíduos em lotes vagos, margens de cursos d'água e áreas de expansão periférica, reforçando a interpretação de que o descarte irregular materializa desigualdades de acesso à infraestrutura, serviços e bens ambientais (Michelotto; Araujo Sobrinho, 2018; Junior; da Silva; da Cunha Vieira Bello, 2022).

Essa leitura aproxima o fenômeno das perspectivas da ecologia política urbana e da justiça ambiental, nas quais as externalidades negativas da urbanização, como lixões, pontos de despejo, enchentes associadas ao entupimento de drenagens tendem a se concentrar em áreas socialmente vulneráveis. No entanto, a maior parte dos trabalhos permanece ancorada na identificação estatística de hotspots e correlações, com pouca problematização dos mecanismos institucionais e históricos que produzem e reproduzem a desigualdade territorial. É nesse ponto que se conecta a discussão metodológica, marcada por uma predominância de abordagens descritivas e retrospectivas.

- **Predominância do paradigma descritivo**

A análise dos métodos confirma o predomínio de um paradigma descritivo na modelagem espacial do descarte irregular. Técnicas como KDE, Moran's I e Getis-Ord  $G_i^*$  são amplamente empregadas para mapear aglomerações espaciais e identificar áreas críticas, cumprindo papel relevante na visualização do problema e na sensibilização de gestores públicos (Jakiel et al., 2019; Swanepoel; Marlin, 2024). Do ponto de vista epistemológico, contudo, essas ferramentas operam majoritariamente no plano da descrição, respondendo à pergunta “onde ocorre” sem necessariamente explicar “por que ocorre” ou “onde poderá ocorrer no futuro”. Mesmo quando combinadas a regressões espaciais, muitas análises mantêm foco explicativo retrospectivo, sem avançar para a construção de modelos explicitamente avaliados quanto à sua capacidade preditiva em diferentes cenários.

A transição da cartografia descritiva para a modelagem preditiva requer mudança de enfoque, de mapas de densidade estáticos para modelos capazes de estimar probabilidades de surgimento de novos pontos de descarte, incorporando variáveis socioeconômicas, morfológicas e ambientais, bem como procedimentos de validação cruzada espacial e temporal. Essa mudança ainda é incipiente e aparece concentrada em poucos estudos de aprendizado de máquina e em propostas de suscetibilidade, como aquelas desenvolvidas para Dakar e para a Eslovênia (Scharf et al., 2025; Hojnik et al., 2025). Essas limitações se articulam a uma lacuna mais ampla, relacionada à fragmentação metodológica e à pouca integração multidimensional.

- **Fragmentação metodológica e ausência de integração multidimensional**

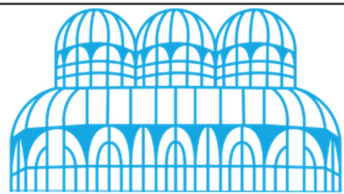
A fragmentação metodológica recorrente é caracterizada pela pouca integração multidimensional entre as abordagens encontradas. Cada estudo mobiliza seu próprio conjunto de variáveis explicativas, escalas espaciais (quadras, setores censitários, buffers, grades) e indicadores de desempenho, o que dificulta comparações entre casos e a construção de sínteses robustas. Em muitos trabalhos, variáveis socioeconômicas são usadas de forma isolada, sem consideração simultânea da morfologia urbana, do uso do solo, da infraestrutura de coleta e do histórico de ocorrências (Syafudin et al., 2023; Mondal; Mandal, 2024).

Essa especialização setorial contrasta com a natureza multifatorial das especificidades, que envolve interações entre precariedade de serviços públicos, práticas culturais, oportunidades territoriais para o descarte e estratégias de fiscalização. Estudos que se aproximam de uma abordagem multidimensional, como o modelo GWR-Random Forest chinês ou a análise socioeconômico-espacial combinatória em Hong Kong, ainda são exceção e carecem de replicação em outros contextos urbanos (Lu et al., 2025; Yang et al., 2025). A emergência recente de técnicas de aprendizado de máquina insere-se nesse cenário como um avanço técnico importante, mas que não elimina, por si só, as lacunas epistemológicas identificadas.

- **Emergência do APRENDIZADO DE MÁQUINA: avanço técnico, lacunas epistemológicas**

A incorporação de algoritmos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo representa um avanço relevante na direção de modelos preditivos, capazes de capturar relações não lineares, interações complexas e grandes volumes de dados. Random Forest, SVM, redes neurais convolucionais e pipelines AutoML têm apresentado alto desempenho na classificação de imagens e na previsão de áreas de risco, sobretudo quando combinam dados espectrais, textura, morfologia e informações contextuais (Xiong et al., 2022; Zhang; Ma, 2024; Marrocco et al., 2024; Gibellini et al., 2025; Hojnik et al., 2025).

Todavia, parte significativa desses estudos aborda os algoritmos como sistemas de baixa transparência, apresentando análises restritas quanto à explicabilidade, aos vieses inerentes aos dados de treinamento e às implicações éticas associadas. Poucos artigos exploram em profundidade medidas de importância de variáveis, métodos como SHAP ou LIME e estratégias de validação espaço temporal robusta. Em vários casos, a divisão treino-teste é aleatória e intraurbana, o que tende a superestimar o desempenho e não demonstra a capacidade de generalização para outras



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



idades ou períodos. Nesse contexto, há risco de substituição de um reducionismo estatístico, centrado em poucos indicadores e técnicas descritivas, por um tecnicismo algorítmico, em que modelos complexos são aplicados sem reflexão suficiente sobre sua adequação ao fenômeno socioespacial e sem diálogo consistente com as demandas da política pública.

- **Escala urbana e invisibilidade das cidades médias**

As escolhas metodológicas e tecnológicas se articulam também a um recorte espacial desigual. A concentração de estudos em megacidades asiáticas e europeias produz invisibilidade analítica das cidades médias, sobretudo na América Latina e em outros países do Sul Global. Entre os 43 artigos analisados, apenas um número reduzido trata diretamente de cidades de médio porte, como Uberlândia, Rampurhat, Blantyre e municípios de menor população na Bolívia e no Malawi (Michelotto; Araujo Sobrinho, 2018; Ferronato et al., 2021; Mvula et al., 2025; Mondal; Mandal, 2024).

Essa lacuna é particularmente relevante porque as dinâmicas territoriais, capacidades institucionais e padrões de urbanização em cidades médias diferem significativamente das metrópoles. Nesses contextos, a governança municipal tende a ser mais frágil, a informalidade na ocupação do solo é mais difundida e a expansão urbana ocorre com menor regulação, criando condições propícias ao surgimento de pontos de dumping. A negligência dessas escalas compromete a capacidade de generalização dos modelos existentes e limita o desenho de estratégias de monitoramento e intervenção ajustadas à realidade da maior parte dos municípios brasileiros. Essas limitações remetem, por fim, ao desafio de traduzir o avanço analítico em instrumentos efetivos de governança territorial.

- **Implicações para a governança territorial**

Embora diversos estudos declarem o objetivo de subsidiar políticas públicas, a revisão indica que a maior parte dos resultados permanece circunscrita ao âmbito acadêmico. Mapas de hotspots e classificações de risco raramente se convertem em instrumentos operacionalizáveis, como indicadores sintéticos, painéis de monitoramento contínuo ou sistemas de apoio à decisão integrados aos fluxos rotineiros de gestão de resíduos (Oyedotun et al., 2021; Guyot; Thomas; Vanwambeke, 2025). Exceções incluem iniciativas como a plataforma “Working Group Land of Fires”, na Itália, voltada à gestão de emergências e ao compartilhamento de dados em áreas afetadas por descarte ilegal de resíduos perigosos, e os sistemas de monitoramento baseados em ciência cidadã em Dakar e na Bélgica, que integram denúncias georreferenciadas aos fluxos de fiscalização (Tora et al., 2024; Scharf et al., 2025; Guyot; Thomas; Vanwambeke, 2025).

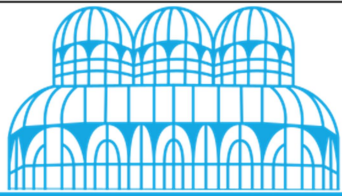
Para que a modelagem espacial contribua de forma mais efetiva para a governança territorial, é necessário deslocar-se de uma lógica de diagnóstico pontual para um ciclo contínuo de monitoramento, previsão e intervenção preventiva, articulando dados de múltiplas fontes (satélites, drones, denúncias, sensores de rota de coleta) em plataformas integradas e acessíveis a gestores locais. Essa agenda de integração técnica, epistemológica e institucional é coerente com a caracterização do descarte irregular como fenômeno socioespacial estrutural e com a necessidade de alinhar avanços metodológicos às demandas da gestão urbana.

## CONCLUSÕES

A revisão sistemática de 43 estudos internacionais evidencia que a modelagem espacial do descarte irregular de resíduos sólidos urbanos atravessa uma fase de transição, na qual técnicas descritivas tradicionais coexistem com abordagens preditivas baseadas em aprendizado de máquina e sensoriamento remoto de alta resolução. A produção científica concentra-se principalmente em China, Índia, Itália e África do Sul, com participação moderada do Brasil e baixa representação da América Latina, o que revela uma assimetria geográfica relevante e limita a generalização de modelos para contextos como cidades médias brasileiras.

Do ponto de vista metodológico, predominam análises descritivas baseadas em SIG, Kernel Density Estimation, Moran's I e Getis-Ord  $G_i^*$ , com crescente uso de regressão espacial e GWR para explorar fatores condicionantes do fenômeno. A incorporação de algoritmos de aprendizado de máquina, como Random Forest, SVM, redes neurais e abordagens multimodais, representa avanço importante em direção a modelos preditivos, mas ainda é marcada por amostras restritas, validação limitada e baixa transparência interpretativa. Persistem lacunas de padronização de variáveis, integração multidimensional e validação espaço-temporal que dificultam comparações sistemáticas entre casos e a construção de sínteses mais robustas.

Os resultados também mostram que o descarte irregular de resíduos deve ser compreendido como fenômeno socioespacial estrutural, associado a desigualdades de renda, precariedade de infraestrutura, informalidade territorial e fragilidades institucionais. Ainda que múltiplos estudos evidenciem correlações entre vulnerabilidade socioeconômica e



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026



concentração de pontos de descarte, a maior parte das análises permanece ancorada em um paradigma descritivo, com foco em diagnósticos retrospectivos e pouca exploração de modelos preditivos validados em diferentes contextos urbanos. A invisibilidade relativa das cidades médias e de municípios do Sul Global reforça essa limitação e restringe a capacidade de uso dos modelos existentes como base para políticas de escala nacional ou regional.

Nesse contexto, o estudo aponta a necessidade de avançar em três dimensões articuladas: o desenvolvimento de protocolos de modelagem espacial que integrem variáveis socioeconômicas, morfológicas e ambientais; a ampliação da base empírica para incluir de forma sistemática cidades de porte médio e regiões sub-representadas; e o fortalecimento da interface entre modelagem e governança, de modo que produtos analíticos se convertam em instrumentos efetivos de decisão. Se protocolos de modelagem espacial integrarem de forma padronizada essas variáveis, incorporando métodos explicativos e preditivos, então será possível comparar resultados entre cidades e construir evidências mais sólidas sobre os determinantes do descarte irregular.

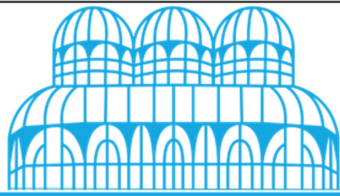
Se essa base empírica for ampliada para incluir sistematicamente cidades de porte médio e regiões hoje pouco estudadas, especialmente na América Latina, então os modelos poderão capturar melhor a diversidade de contextos institucionais e de trajetórias de urbanização que estruturam o fenômeno. Por fim, se a interface entre modelagem e governança for fortalecida por meio de estudos longitudinais, experimentos de implementação de *dashboards* em secretarias municipais e plataformas de monitoramento contínuo, então mapas de risco e modelos preditivos tenderão a se consolidar como instrumentos efetivos de planejamento, fiscalização e promoção da justiça ambiental nas políticas de resíduos sólidos urbanos.

A partir dessas lacunas, delinea-se uma agenda de pesquisas futuras orientada para o aprofundamento conceitual e aplicado do campo. Essa agenda inclui: o desenvolvimento, teste e disseminação de protocolos padronizados de modelagem espacial do descarte irregular, com definição de um conjunto mínimo de variáveis, escalas cartográficas recomendadas e métricas de validação espaço-temporal; a realização de estudos comparativos multi-cidades, contemplando simultaneamente metrópoles e cidades médias em diferentes regiões, a fim de avaliar a transferibilidade de modelos e os efeitos de contexto; a integração de dados multimodais (imagens de satélite e drones, registros operacionais de coleta, dados de *street view*, denúncias cidadãs e indicadores socioeconômicos) em *pipelines* analíticos reprodutíveis, com ênfase em validação cruzada no espaço e no tempo; a avaliação sistemática da interpretabilidade e dos vieses de modelos de aprendizado de máquina aplicados ao descarte ilegal, explorando técnicas de explicabilidade e discutindo suas implicações éticas; e o co-desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão com gestores locais, testando como mapas de risco, *dashboards* e modelos preditivos influenciam, na prática, rotinas de fiscalização, priorização de áreas de intervenção e desenho de políticas preventivas.

O avanço nessas frentes poderá consolidar a modelagem espacial do descarte irregular de resíduos sólidos urbanos como ferramenta estratégica do fortalecimento da governança territorial e a construção de cidades socialmente mais equitativas e ambientalmente sustentáveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

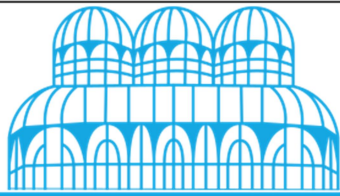
1. AL FARIZ, R. D.; RACHMAN, I.; MATSUMOTO, T. A spatio-temporal analysis of illegal waste disposal site activities at national strategic area in developing country – Deli Serdang Regency, Indonesia. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, [s. l.], v. 25, n. 9, p. 231–242, 2024. DOI: 10.12912/27197050/190755.
2. ALI, M.; MARVUGLIA, A.; GENG, Y.; CHAUDHRY, N.; KHOKHAR, S. Emergey based carbon footprinting of household solid waste management scenarios in Pakistan. *Resources, Conservation and Recycling*, [s. l.], v. 131, p. 283–296, 2018. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.011.
3. CICALA, L.; AMITRANO, D.; PARRILLI, S.; ANGELINO, C. V. Integration of remote sensing technologies within decision support systems for the enforcement of illegal dumping: principles and numerical simulations. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, [s. l.], v. 262, p. 525–532, 2024. DOI: 10.2495/SDP240431.
4. DU, L.; ZUO, J.; VANZO, J.; CHANG, R.; ZILLANTE, G. Assessing and predicting the illegal dumping risks in relation to road characteristics. *Waste Management*, Oxford, v. 169, p. 332–341, 2023. DOI: 10.1016/j.wasman.2023.07.031.
5. ELSMAN, R.; BAHNSEN, R.; HAMZAH, N.; WONG, T.; Yeap, T. Advances in the Application of Drones in Wastewater Infrastructure Monitoring. *Water Science & Technology*, v. 89, n. 7, 2024.
6. FAN, B.; CHEN, L.; CHONG, Y. T.; HE, Z. Mining for spatio-temporal distribution rules of illegal dumping from large dataset. *Data Base for Advances in Information Systems*, [s. l.], v. 47, n. 3, p. 41–53, 2016. DOI: 10.1145/2980783.2980786.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026



7. FERRONATO, N.; PORTUGAL ALARCÓN, G. P.; GUIBERT LIZARAZU, E. G.; TORRETTA, V. Assessment of municipal solid waste collection in Bolivia: perspectives for avoiding uncontrolled disposal and boosting waste recycling options. *Resources, Conservation and Recycling*, [s. l.], v. 167, 2021. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105234.
8. GARCÍA, L. A. Illegal dumping solid waste: a case study. *Revista Espanola de Investigacion Criminologica*, [s. l.], v. 21, n. 2, 2023. DOI: 10.46381/reic.v21i2.820.
9. GEORGIOU, G.; KARAYANNIS, V. GIS-based approach for solid waste disposal site mapping and environmental rehabilitation. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 601–611, 2023. DOI: 10.1007/s41207-023-00387-x.
10. GIBELLINI, F.; FRATERNALI, P.; BORACCHI, G.; MORANDINI, L.; MARTINOLI, T.; DIECIDUE, A.; MALEGORI, S. A deep learning pipeline for solid waste detection in remote sensing images. *Waste Management Bulletin*, [s. l.], v. 3, n. 4, 2025. DOI: 10.1016/j.wmb.2025.100246.
11. GOLDER, S.; ALAMGIR, M. Use of geographical information system for the evaluation of solid waste management practice in Khulna city. *Detritus*, [s. l.], v. 4, n. December, p. 178–188, 2018. DOI: 10.31025/2611-4135/2018.13743.
12. GUYOT, M.; THOMAS, I.; VANWAMBEKE, S. O. From complaints to insights: a geographical analysis of illegal dumping by citizen sensor data. *Cities*, [s. l.], v. 161, 2025. DOI: 10.1016/j.cities.2025.105892.
13. HOJNIK, B.; HORVAT, G.; MONGUS, D.; BRUMEN, M.; KAMNIK, R. Towards sustainable waste management: predictive modelling of illegal dumping risk zones using circular data loops and remote sensing. *Sustainability (Switzerland)*, [s. l.], v. 17, n. 18, 2025. DOI: 10.3390/su17188280.
14. IRSHAD, T.; BOSE, M.; NARMADA, K. Spatial analysis of unauthorized dumpsites in Kalaburagi City, Karnataka: assessing influencing factors using geographically weighted regression for sustainable waste management. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, [s. l.], 2026. DOI: 10.1007/s10163-026-02506-6.
15. JAKENI, Y.; MAPHANGA, T.; MADONSELA, B. S.; MALAKANE, K. C. Identification of illegal dumping and community views in informal settlements, Cape Town: South Africa. *Sustainability (Switzerland)*, [s. l.], v. 16, n. 4, 2024. DOI: 10.3390/su16041429.
16. JAKIEL, M.; BERNATEK-JAKIEL, A.; GAJDA, A.; FILIKS, M.; PUFELSKA, M. Spatial and temporal distribution of illegal dumping sites in the nature protected area: the Ojców National Park, Poland. *Journal of Environmental Planning and Management*, [s. l.], v. 62, n. 2, p. 286–305, 2019. DOI: 10.1080/09640568.2017.1412941.
17. Journal Citation Reports (JCR) e Scimago Journal Rank (SJR): fatores de impacto dos periódicos científicos 2023-2024. Disponível em: <https://clarivate.com/products/journal-citation-reports/> e <https://www.scimagojr.com>.
18. JUNIOR, E. G.; DA SILVA, É. L.; DA CUNHA VIEIRA BELLO, M. I. M. Mapping of disposal points for construction and demolition waste in the city of Caruaru, Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [s. l.], v. 15, n. 6, p. 3106–3120, 2022. DOI: 10.26848/rbgf.v15.6.p3106-3120.
19. KALONDE, P. K.; MWAPASA, T.; MTHAWANJI, R.; CHIDZIWISANO, K.; MORSE, T.; TORGUSON, J. S.; JONES, C. M.; QUILLIAM, R. S.; FEASEY, N. A.; HENRION, M. Y. R.; STANTON, M. C.; BLINNIKOV, M. S. Mapping waste piles in an urban environment using ground surveys, manual digitization of drone imagery, and object based image classification approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, [s. l.], v. 197, n. 4, 2025. DOI: 10.1007/s10661-025-13675-6.
20. KARIMI, N.; NG, K. T. W.; RICHTER, A. Development and application of an analytical framework for mapping probable illegal dumping sites using nighttime light imagery and various remote sensing indices. *Waste Management*, [s. l.], v. 143, p. 195–205, 2022. DOI: 10.1016/j.wasman.2022.02.031.
21. KIM, Y.; CHO, J. AIDM-Strat: augmented illegal dumping monitoring strategy through deep neural network-based spatial separation attention of garbage. *Sensors*, [s. l.], v. 22, n. 22, 2022. DOI: 10.3390/s22228819.
22. LIAO, C. H. A method for evaluating spatial characteristics of illegal garbage dumping issues in mountain villages of Taiwan using exploratory special analysis. *International Journal of Environmental Science and Development*, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 199–203, 2024. DOI: 10.18178/ijesd.2024.15.4.1486.
23. LU, W.; YANG, B.; YUAN, L.; PENG, Z. Understanding fly-tipping in urban areas: a social-economic-spatial combinatorial approach enabled by geographically weighted random forest. *Environmental Impact Assessment Review*, [s. l.], v. 112, 2025. DOI: 10.1016/j.eiar.2025.107858.
24. MAHMOOD, K.; UL-HAQ, Z.; FAIZI, F.; TARIQ, S.; NAEEM, M. A.; RANA, A. D. Monitoring open dumping of municipal waste in Gujranwala, Pakistan using a combination of satellite based bio-thermal indicators and GIS analysis. *Ecological Indicators*, [s. l.], v. 107, 2019. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105613.
25. MARROCCO, C.; BRIA, A.; TORTORELLA, F.; PARRILLI, S.; CICALA, L.; FOCARETA, M.; MEOLI, G.; MOLINARA, M. Illegal microdumps detection in multi-mission satellite images with deep neural network and transfer learning approach. *IEEE Access*, [s. l.], v. 12, p. 79585–79601, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3409393.



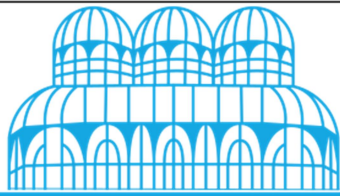
CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



26. MICHELOTTO, L. D. G.; ARAUJO SOBRINHO, F. L. The design thinking method in the search of urban sustainability: an applied proposal to the irregular disposal issue in the city of Uberlândia, MG, Brazil. *Confins - Revue Franco-Brésilienne de Géographie / Revista Franco-Brasileira de Geografia*, Paris, v. 38, 2018. DOI: 10.4000/confins.17053.
27. MONDAL, S.; MANDAL, B. Assessment of urban solid waste management in a Class II Indian city using geospatial and statistical approaches: a case study of Rampurhat municipality. *Waste Management Bulletin*, [s. l.], v. 1, n. 4, p. 74–92, 2024. DOI: 10.1016/j.wmb.2023.09.003.
28. MUSCI, M.; DE ALENCAR CARVALHO, C. V.; DE MELLO PEREIRA SERRÃO, G.; DA COSTA, G. C.; DOS SANTOS BAPTISTA, F. L.; CARDOSO, A. M. Drones and sustainability: how technology can assist in the automatic detection of waste in hard-to-access areas. *Revista de Gestao Social e Ambiental*, [s. l.], v. 18, n. 9, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n9-109.
29. MVULA, R. L. S.; BANDA, Y. M.; NJUNJU, M. A.; THOLO, H. M.; CHISENGA, C.; NYENGERE, J.; NJALAM'MANO, J.; EREGNO, F. E.; KADEWA, W. Mapping illegal dumping sites in a low-resource region using GIS and remote sensing: the case of Blantyre City, Malawi. *Urban Science*, [s. l.], v. 9, n. 7, 2025. DOI: 10.3390/urbansci9070254.
30. NAGPURE, A. S. Assessment of quantity and composition of illegal dumped municipal solid waste (MSW) in Delhi. *Resources, Conservation and Recycling*, [s. l.], v. 141, p. 54–60, 2019. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.10.012.
31. NGALO, N.; THONDHLANA, G. Illegal solid-waste dumping in a low-income neighbourhood in South Africa: prevalence and perceptions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, [s. l.], v. 20, n. 18, 2023. DOI: 10.3390/ijerph20186750.
32. OYEDOTUN, T. D. T.; MOONSAMMY, S.; OYEDOTUN, T. D.; NEDD, G. A.; LAWRENCE, R. N. Evaluation of waste dynamics at the local level: the search for a new paradigm in national waste management. *Environmental Challenges*, [s. l.], v. 4, 2021. DOI: 10.1016/j.envc.2021.100130.
33. PAGE Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, n. 71, 2021.
34. RADHAKRISHNAN, T.; MANIMEKALAN, A.; GHOSH, D.; PRASANNA, R. Identifying high-vulnerable garbage accumulation areas in Coimbatore City, India: an AHP-GIS approach for effective waste management. *Environmental Science and Pollution Research*, [s. l.], v. 31, n. 14, p. 21797–21810, 2024. DOI: 10.1007/s11356-024-32486-9.
35. SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, M.; ARENAS-GARCÍA, L.; GUTIÉRREZ GALLEGU, J. A. Detection of construction and demolition illegal waste using photointerpretation of DEM models of LiDAR data. *Land*, [s. l.], v. 12, n. 12, 2023. DOI: 10.3390/land12122119.
36. SCHARF, N.; DUCRY, B.; SY, B.; DJIM, A.; LACROIX, P. Integrating remote sensing, GIS, and citizen science to map illegal waste dumping susceptibility in Dakar, Senegal. *Sustainability (Switzerland)*, [s. l.], v. 17, n. 24, 2025. DOI: 10.3390/su172411137.
37. SEDOVA, B. On causes of illegal waste dumping in Slovakia. *Journal of Environmental Planning and Management*, Abingdon, v. 59, n. 7, p. 1277–1303, 2016. DOI: 10.1080/09640568.2015.1072505.
38. SEEBOONRUANG, U. Geographic information system-based impact assessment for illegal dumping in borrow pits in Chachoengsao Province, Thailand. *Special Paper of the Geological Society of America*, [s. l.], v. 520, p. 393–405, 2016. DOI: 10.1130/2016.2520(35).
39. SWANEPOEL, S.; MARLIN, D. Mapping illegal dumping in Nelson Mandela Bay Metro: a study using image interpretation. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, [s. l.], v. 36, 2024. DOI: 10.1016/j.rsase.2024.101302.
40. SYAFRUDIN, S.; RAMADAN, B. S.; BUDIHardjo, M. A.; MUNAWIR, M.; KHAIR, H.; ROSMALINA, R. T.; ARDIANSYAH, S. Y. Analysis of factors influencing illegal waste dumping generation using GIS spatial regression methods. *Sustainability*, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 1926, 2023. DOI: 10.3390/su15031926.
41. TORA, S.; DI LORENZO, A.; RAGONE, G.; D'ANTONIO, A.; MARRO, C.; CONTE, A.; CAVALLO, S.; BONANNI, A.; BUCCIARELLI, M.; MALIZIA, E.; CIAVARELLA, A.; MIGLIORATI, G.; SAVINI, L. The "Working Group Land of Fires" platform for emergency management, data sharing and dissemination. *Veterinaria Italiana*, [s. l.], v. 60, n. 4 (Special Issue), 2024. DOI: 10.12834/VetIt.3527.25903.2.
42. XIONG, N.; LU, H.; YANG, X.; WANG, J.; YUE, D. Spatial characteristics and multifactorial driving analysis of fly-tipping bulky waste in Beijing based on the random forest model. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 363, 2022. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132534.
43. YANG, B.; LU, W.; CHEN, J.; YUAN, L.; BAO, Z. Dynamics of street views and socio-economic conditions in profiling illegal dumping 'black spots': an LLM-enabled study in Hong Kong. *Waste Management*, [s. l.], v. 207, 2025. DOI: 10.1016/j.wasman.2025.115137.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9° CONRESOL

9° Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



44. YANG, W.; FAN, B.; DESOUZA, K. C. Spatial-temporal effect of household solid waste on illegal dumping. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 227, p. 313–324, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.173.
45. ZHANG, S.; MA, J. CascadeDumpNet: enhancing open dumpsite detection through deep learning and AutoML integrated dual-stage approach using high-resolution satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, [s. l.], v. 313, 2024. DOI: 10.1016/j.rse.2024.114349.
46. ZHANG, S.; MA, J.; JIANG, F. Monitoring street-level improper dumpsites via a multi-modal and LLM-based framework. *Resources, Conservation and Recycling*, Amsterdam, v. 218, p. 108227, 2025. DOI: 10.1016/j.resconrec.2025.108227/.