
Lixões ainda ativos no Brasil: Desafios institucionais e lacunas na avaliação de desempenho ambiental

Landfills still active in Brazil: Institutional challenges and gaps in environmental performance assessment

Received: 14/02/2026 | Accepted: 21/02/2026 | Published: 28/02/2026

Karina Albuquerque da Silva

Universidade Federal do Ceará, Brasil

ORCID ID: 0000-0002-4148-6890

ID Lattes: 4330637975089066

E-mail: karinaquerque.ufc@gmail.com

Ana Bárbara de Araújo Nunes

Universidade Federal do Ceará, Brasil

ORCID ID: 0000-0001-5845-6252

ID Lattes: 1624361530002492

Tiago de Abreu Lima

Instituto de Ensino Superior, País

ORCID ID: 0000-0001-8287-389X

ID Lattes: 8436560925325499

RESUMO

O estudo analisou os desafios do Brasil no encerramento de lixões após a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que previa sua erradicação. Mesmo com prazos definidos, cerca de 2.500 lixões permaneciam ativos, evidenciando falhas na gestão e fiscalização. A ausência de instrumentos padronizados de avaliação compromete a efetividade das ações, especialmente em municípios menores. O objetivo foi identificar lacunas institucionais, normativas e operacionais e propor bases para um sistema de avaliação ambiental. A metodologia incluiu revisão bibliográfica e análise de dados secundários. Os resultados apontaram falta de parâmetros técnicos, escassez de indicadores integrados e ausência de monitoramento contínuo, além da inexistência de um modelo nacional de avaliação. Propõe-se um sistema baseado em Inteligência Artificial com indicadores multidimensionais. Conclui-se que a integração entre tecnologia e gestão, aliada à padronização de indicadores, é essencial para o encerramento sustentável dos lixões.

Palavras-chave: Encerramento de lixões; Inteligência artificial; Avaliação de desempenho ambiental.

ABSTRACT

The study analyzed the challenges faced by Brazil in closing open dumps following the National Solid Waste Policy (Law No. 12.305/2010), which established their eradication. Despite defined deadlines, approximately 2,500 dumps remained active, highlighting failures in management and enforcement. The lack of standardized evaluation instruments compromises the effectiveness of actions, especially in smaller municipalities. The objective was to identify institutional, regulatory, and operational gaps and to propose foundations for an environmental assessment system. The methodology included a systematic literature review and analysis of secondary data. The results indicated a lack of technical parameters, scarcity of integrated indicators, and absence of continuous monitoring, as well as the inexistence of a national evaluation model. An Artificial Intelligence-based system with multidimensional indicators is proposed. It is concluded that the integration of technology and management, combined with the standardization of indicators, is essential for the sustainable closure of open dumps.

Keywords: Open dump closure; Artificial Intelligence; Environmental performance evaluation.

INTRODUÇÃO

A gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil continua sendo um dos maiores desafios socioambientais enfrentados pelos municípios, especialmente os de pequeno e médio porte. Apesar da vigência da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) desde 2010, instituída pela Lei nº 12.305/2010, que previa a extinção dos lixões até 2014, o país ainda convive com mais de 2.500 lixões em operação, conforme aponta a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – Abrelpe (2021). Essa persistência indica não apenas a fragilidade na implementação da política, mas também a ausência de instrumentos eficazes de fiscalização e avaliação de desempenho ambiental das ações de encerramento.

Segundo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, mais de 30 milhões de toneladas de resíduos são dispostas de forma inadequada a cada ano, com impactos significativos sobre a saúde pública e o meio ambiente (Abrelpe, 2021). Lixões a céu aberto são fontes de emissão de gases de efeito estufa, como metano (CH₄), e geradores de chorume, que frequentemente contamina o solo e os recursos hídricos, comprometendo os serviços ecossistêmicos essenciais e afetando comunidades vulneráveis (Silva et al., 2020; Sousa, Ferreira e Guimarães, 2019).

A literatura aponta que o fechamento inadequado de lixões pode resultar em passivos ambientais persistentes, especialmente quando não há monitoramento contínuo dos indicadores ambientais, sociais e econômicos (Cetrulo et al., 2020). No entanto, a implementação de sistemas padronizados para avaliação de desempenho ambiental ainda é incipiente no Brasil, o que dificulta a medição da eficácia das ações adotadas e a transparência nos processos de encerramento (Vieira e Aranha, 2019).

Além disso, os municípios enfrentam dificuldades relacionadas à governança, escassez de recursos financeiros, ausência de capacitação técnica e fragilidade na articulação entre os entes federativos (Peralta e Antonello, 2015). Em muitos casos, os planos de encerramento são elaborados sem diagnósticos precisos ou metas claras de recuperação ecológica, o que compromete a efetividade das ações e perpetua os riscos à saúde humana e ambiental.

Diante desse cenário, torna-se fundamental identificar as lacunas normativas, operacionais e tecnológicas que dificultam o encerramento adequado dos lixões e propor caminhos metodológicos que permitam superar essas limitações. Este artigo busca justamente discutir essas lacunas e defender a necessidade de criação de um sistema

padronizado de avaliação de desempenho, como base para a tomada de decisão técnica e transparente, apoiada por dados confiáveis e comparáveis.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Diagnosticar as lacunas na gestão e avaliação do encerramento de lixões no Brasil, como base para o desenvolvimento de um sistema inteligente de avaliação de desempenho ambiental.

Objetivo específicos

- Identificar os principais obstáculos institucionais, normativos e operacionais que dificultam o encerramento de lixões no Brasil.
- Mapear as lacunas existentes nos mecanismos atuais de avaliação de desempenho ambiental aplicados ao encerramento de lixões.
- Analisar a ausência de parâmetros técnicos padronizados e de indicadores integrados nas práticas de encerramento.
- Propor os fundamentos conceituais e estruturais para o desenvolvimento de um sistema inteligente de avaliação ambiental.

METODOLOGIA

Este estudo utilizou uma abordagem qualitativa, exploratória e documental, com foco na análise crítica das políticas públicas e dos instrumentos técnicos voltados ao encerramento de lixões no Brasil. A pesquisa foi dividida em três etapas principais: revisão de literatura, levantamento normativo e análise de dados secundários.

Na primeira etapa, realizou-se uma revisão sistemática de literatura nas bases de dados CAPES Periódicos, Scopus, Google Scholar, Elsevier e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), utilizando os descritores: *lixões*, *encerramento de lixões*, *avaliação de desempenho ambiental*, *indicadores ambientais*, *política de resíduos sólidos*, *descarte inadequado de resíduos* e *monitoramento ambiental*. Foram selecionados artigos, dissertações, teses e relatórios técnicos publicados entre 2010 e 2024, com recorte temático relacionado à gestão de resíduos sólidos urbanos e reabilitação ambiental.

A segunda etapa consistiu no levantamento e análise de documentos legais e normativos, incluindo a Lei nº 12.305/2010 (PNRS), resoluções CONAMA, normas da ABNT aplicáveis ao monitoramento ambiental e relatórios oficiais da ABRELPE (2014, 2015, 2017 e 2021). Esta análise permitiu identificar as diretrizes existentes e os critérios técnicos preconizados para o encerramento de lixões.

Na terceira etapa, realizou-se a análise crítica de dados secundários disponíveis em fontes como o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e o IBGE, visando à identificação das práticas vigentes, do grau de cumprimento das metas legais e das principais deficiências operacionais enfrentadas pelos municípios. A partir dessas informações, foram sistematizados os principais entraves e lacunas na gestão e avaliação de desempenho dos processos de encerramento.

Por fim, com base nas evidências reunidas, propôs-se uma estrutura preliminar para um sistema inteligente de avaliação de desempenho ambiental, fundamentado na integração de indicadores e no uso de Inteligência Artificial como ferramenta de apoio à gestão pública.

Procedimentos metodológicos

A revisão sistemática da literatura foi conduzida com o objetivo de identificar, classificar e analisar estudos acadêmicos e técnicos relacionados ao encerramento de lixões, avaliação de desempenho ambiental e aplicação de tecnologias inteligentes na gestão de resíduos sólidos. A metodologia adotada seguiu os princípios estabelecidos por Kitchenham (2004) e Pereira et al. (2018), estruturando-se em quatro etapas principais: definição da pergunta de pesquisa, estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão, busca e seleção das publicações e análise qualitativa do conteúdo.

A pergunta norteadora definida foi: “*Quais são os principais desafios e lacunas na avaliação do encerramento de lixões no Brasil e quais metodologias têm sido utilizadas para esse fim?*”

As bases de dados utilizadas foram: Scientific Electronic Library Online (SciELO), Portal de Periódicos da CAPES, Scopus, Google Scholar, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e ScienceDirect. Os descritores utilizados em português e inglês foram combinados com operadores booleanos, incluindo: *lixões, encerramento de lixões, descarte inadequado de resíduos, avaliação de desempenho ambiental, indicadores de sustentabilidade, resíduos sólidos urbanos, landfill closure, performance evaluation, solid waste management e open dumps.*

Os critérios de inclusão consideraram:

- a) publicações entre os anos de 2010 e 2024;
- b) textos completos disponíveis online;
- c) abordagens voltadas à gestão de resíduos, indicadores ambientais, políticas públicas, ou uso de tecnologias emergentes na área ambiental;

d) estudos realizados no Brasil ou em contextos comparáveis de países em desenvolvimento.

Foram excluídos artigos com foco exclusivo em resíduos industriais, perigosos ou radioativos, bem como estudos que não apresentavam metodologias aplicáveis à realidade dos municípios brasileiros.

Após a triagem inicial, 142 estudos foram identificados. Após leitura dos títulos e resumos, 63 publicações atenderam aos critérios. Destas, 38 foram selecionadas para leitura completa, sendo 26 utilizadas na fundamentação teórica do artigo. Os dados extraídos foram organizados em uma planilha com as seguintes variáveis: autor(es), ano, objetivo, metodologia, principais resultados e relevância para a proposta de avaliação de desempenho.

A análise revelou carência de modelos integrados de avaliação aplicados ao encerramento de lixões, bem como a fragmentação dos estudos entre áreas temáticas (ambiental, econômica e social), sem articulação sistêmica. Constatou-se ainda que a maioria dos estudos identificava os impactos dos lixões, mas poucos propunham ferramentas práticas de avaliação contínua ou incorporavam abordagens tecnológicas como Inteligência Artificial.

Essas constatações reforçaram a necessidade de desenvolvimento de um sistema inteligente de avaliação de desempenho, baseado em indicadores multidimensionais, como o proposto na presente pesquisa.

Levantamento e análise de documentos legais

Com o objetivo de identificar os marcos normativos que regem o encerramento de lixões e a gestão de resíduos sólidos no Brasil, foi realizado um levantamento sistemático dos principais documentos legais aplicáveis à temática. A análise contemplou legislações federais, resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e diretrizes de órgãos oficiais ligados ao saneamento ambiental.

A pesquisa normativa concentrou-se, inicialmente, na Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e no Decreto nº 7.404/2010, que a regulamenta. Foram examinados os dispositivos legais referentes aos prazos de encerramento de lixões, aos instrumentos de planejamento (como o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos) e às diretrizes para recuperação de áreas degradadas. Também foram analisadas as metas e obrigações legais atribuídas aos municípios, consórcios públicos e entes federativos.

No âmbito infralegal, foram revisadas as seguintes resoluções do CONAMA:

- Resolução nº 05/1993, sobre critérios para áreas degradadas;
- Resolução nº 03/1990, que trata da qualidade do ar;
- Resolução nº 357/2005, sobre padrões de qualidade da água;
- Resolução nº 420/2009, que define valores orientadores de qualidade do solo.

Além disso, foram consideradas as normas técnicas da ABNT, com destaque para:

- NBR 10007:2004 – Amostragem de resíduos sólidos;
- NBR 14678:2001 – Análise de emissões atmosféricas;
- NBR 13896:1997 – Projeto de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

Todos os documentos foram lidos integralmente e analisados qualitativamente à luz de três critérios principais: (i) aplicabilidade prática para o encerramento de lixões, (ii) existência de parâmetros técnicos padronizados para avaliação de desempenho e (iii) exigência de monitoramento contínuo das condições ambientais das áreas reabilitadas.

A análise revelou que, embora exista um arcabouço legal relativamente completo no papel, ele apresenta baixa operacionalização, sobretudo no que diz respeito à definição de indicadores mensuráveis de desempenho e à ausência de protocolos técnicos unificados para aferição dos resultados. Constatou-se também que muitas das exigências legais não são acompanhadas de mecanismos claros de responsabilização ou incentivo à adesão pelos municípios, o que dificulta a implementação efetiva da PNRS.

Essa etapa forneceu subsídios técnicos e legais fundamentais para embasar a proposta do sistema inteligente de avaliação de desempenho, que busca justamente preencher as lacunas identificadas nos documentos oficiais, com ênfase na padronização e sistematização dos processos de acompanhamento e controle ambiental.

Análise crítica

Nesta etapa, foi adotado o método de análise de conteúdo temática, conforme Bardin (2011), para examinar criticamente documentos e bases de dados secundárias relacionadas à gestão e encerramento de lixões no Brasil.

Seleção das fontes de dados secundários

Foram selecionados documentos e relatórios técnicos de abrangência nacional, reconhecidos pela qualidade e relevância para a temática, tais como:

- *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil* (ABRELPE, edições 2014, 2015, 2017 e 2021).
- Dados do *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)*.

- Censos e levantamentos do *IBGE*.
- Relatórios de *tribunais de contas estaduais e consórcios públicos intermunicipais*.
- Planos de gestão integrada de resíduos sólidos (PGIRS) disponíveis publicamente.

Definição das categorias de análise

A partir dos objetivos específicos do artigo, foram definidas cinco categorias temáticas para organizar e codificar as informações.

- i) Aspectos institucionais.
- ii) Aspectos normativos e legais.
- iii) Condições operacionais e técnicas dos municípios.
- iv) Instrumentos de monitoramento e fiscalização.
- v) Presença ou ausência de indicadores de desempenho.

Pré-análise dos documentos

Todos os documentos foram lidos integralmente. Durante essa leitura inicial, foram destacados trechos relevantes relacionados às categorias definidas, utilizando marcações e anotações marginais (codificação aberta).

Categorização e organização em matriz analítica

Os conteúdos extraídos foram sistematizados em uma matriz de análise temática, que cruzou os documentos/fonte com as cinco categorias de análise. Essa matriz permitiu identificar regularidades, contradições, lacunas e padrões de recorrência nos dados.

Interpretação e síntese crítica

Com base na matriz construída, foi realizada uma análise interpretativa dos dados, identificando:

- Evidências de fragilidade na implementação da PNRS
- Falhas de articulação entre os entes federativos
- Inexistência de sistemas nacionais de avaliação de desempenho
- Dificuldade de acesso a dados padronizados e comparáveis entre municípios

Fundamentação para proposta técnica

A partir da síntese crítica, foram extraídas recomendações e requisitos técnicos que fundamentam a proposta de desenvolvimento de um sistema inteligente de avaliação de desempenho.

Estrutura preliminar para um Sistema inteligente de avaliação de desempenho ambiental

Com base nas análises realizadas nas etapas anteriores da metodologia, foi delineada uma estrutura preliminar para o desenvolvimento de um sistema inteligente de avaliação de desempenho ambiental aplicável ao processo de encerramento de lixões. Esta etapa consistiu na definição conceitual e funcional do sistema, a ser posteriormente implementado, testado e validado nas fases seguintes da pesquisa.

- A estrutura foi concebida a partir da integração de três elementos metodológicos:
- (i) os indicadores multidimensionais identificados na revisão normativa e técnica (ambientais, sociais, econômicos, políticos, tecnológicos, de governança e sustentabilidade);
 - (ii) os tipos de dados que alimentariam o sistema (quantitativos, qualitativos, geoespaciais e temporais); e
 - (iii) as estratégias computacionais previstas, baseadas em técnicas de aprendizado de máquina e redes neurais.

O sistema foi estruturado em três módulos principais, cada um com funções distintas, conforme descrito abaixo.

I) Módulo de integração e pré-processamento de dados

Este módulo foi projetado para consolidar dados provenientes de diferentes fontes (relatórios ambientais, sensores, bancos públicos como SNIS, SINAN e IBGE, e instrumentos locais de planejamento), padronizando-os para uso computacional. Foram definidos os procedimentos metodológicos para normalização, codificação e limpeza dos dados, conforme as boas práticas descritas por Otter et al. (2021) e Garcia-Garcia et al. (2018), a fim de garantir consistência e qualidade no treinamento dos modelos.

II) Módulo de modelagem com Inteligência Artificial

A etapa metodológica de modelagem prevê o uso de redes neurais densas para dados tabulares, redes convolucionais para imagens e redes recorrentes para séries temporais. A definição preliminar dessas arquiteturas foi orientada pelas características dos dados previstos no sistema e pelo objetivo de análise preditiva e classificatória dos resultados do encerramento dos lixões. Nesta fase da pesquisa, foi apenas estabelecido o modelo lógico da arquitetura, sem implementação prática.

III) Módulo de interpretação e apoio à decisão

Conceitualmente, este módulo foi desenhado para apresentar os resultados gerados pelos modelos de IA em forma de dashboards interativos, gráficos comparativos, mapas temáticos e relatórios automatizados. Embora sua construção prática esteja prevista para fases posteriores do estudo, nesta etapa foram definidos os requisitos técnicos e funcionais desejáveis, com base em boas práticas de sistemas de gestão ambiental informatizados.

A estrutura preliminar foi elaborada com vistas à modularidade e escalabilidade, permitindo que o sistema seja customizado para diferentes realidades municipais. O desenho metodológico considerou também o princípio do aprendizado contínuo, no qual o sistema se retroalimenta com novos dados ao longo do tempo, aprimorando sua capacidade analítica.

A consolidação desta estrutura conceitual representou o fechamento da etapa metodológica do presente artigo, oferecendo a base técnica sobre a qual serão construídos os indicadores, o software e o modelo computacional a serem apresentados e testados nos artigos seguintes da pesquisa.

RESULTADOS

A revisão sistemática identificou, inicialmente, 142 publicações, das quais 63 atenderam aos critérios após leitura de títulos e resumos. Após a leitura completa, 26 estudos foram selecionados para compor a fundamentação teórica do artigo. Os artigos foram organizados em uma planilha com as variáveis: autor, ano, objetivo, metodologia, principais resultados e aplicabilidade à avaliação de encerramento de lixões. A Tabela 1 apresenta os 26 estudos selecionados.

Tabela 1 – Estudos selecionados

| <i>Autor(es)</i> | <i>Ano</i> | <i>Objetivo</i> | <i>Metodologia</i> | <i>Principais Resultados</i> | <i>Aplicabilidade à avaliação de Encerramento de Lixões</i> |
|-----------------------|------------|------------------------------------|-----------------------|--|---|
| <i>Cetrulo et al.</i> | 2020 | Revisar indicadores de resíduos em | Revisão de literatura | de Indicadores são desarticulados e locais | Alta |

| | | avaliações locais | | | |
|----------------------------|------|--|----------------------|--|-------|
| <i>Sousa et al.</i> | 2019 | Analisar impactos socioambientais de lixões | Estudo de caso | Forte relação entre lixões e doenças | Alta |
| <i>Silva et al.</i> | 2020 | Investigar influência do chorume em corpos d'água | Análise laboratorial | Chorume compromete qualidade da água | Alta |
| <i>Vieira e Aranha</i> | 2019 | Propor indicadores sistêmicos para resíduos sólidos | Revisão teórica | Faltam indicadores integrados e contínuos | Alta |
| <i>Peralta e Antonello</i> | 2015 | Discutir consórcios intermunicipais na PNRS | Análise documental | Consórcios são solução, mas enfrentam barreiras | Média |
| <i>Costa et al.</i> | 2016 | Avaliar impactos ambientais de lixão em Cristalândia -PI | Estudo de caso | Identificou contaminação do solo e lençol freático | Alta |
| <i>Mendes et al.</i> | 2021 | Diagnosticar disposição final de | Pesquisa documental | Muitos municípios ainda | Alta |

| | | | | | |
|----------------------------|------|--|-------------------------|--|-------|
| | | resíduos na Paraíba | | utilizam lixões | |
| <i>Campos et al.</i> | 2008 | Apresentar indicadores de desempenho ambiental em SGAs | Pesquisa teórica | Destaca importância dos indicadores para avaliação de desempenho ambiental | Média |
| <i>Villa et al.</i> | 2022 | Analisar impacto da gestão de resíduos na qualidade de vida | Estudo de caso | Lixões impactam negativamente a saúde pública e o meio ambiente | Alta |
| <i>Ruaro et al.</i> | 2009 | Diagnosticar disposição final de resíduos em Santa Catarina | Pesquisa documental | Identificou necessidade de melhorias na gestão de resíduos | Média |
| <i>Aires et al.</i> | 2013 | Monitorar concentração de gases em célula experimental de resíduos | Estudo experimental | Dados sobre emissão de gases em aterros | Média |
| <i>Silva Júnior et al.</i> | 2019 | Panorama da coleta e destinação final de | Levantamento documental | Poucos avanços na gestão de resíduos | Alta |

| | | | | | |
|---------------------------|------|---|-----------------|--|-------|
| | | resíduos no Nordeste | | entre 2014 e 2019 | |
| <i>Martins e Cândido</i> | 2015 | Avaliar indicadores de sustentabilidade em gestão de resíduos | Estudo de caso | Desenvolver um conjunto de indicadores aplicáveis à gestão de resíduos | Alta |
| <i>Choi e Sirakaya</i> | 2006 | Analisar governança em gestão de resíduos sólidos | Revisão teórica | Destaca importância da governança na gestão eficaz de resíduos | Média |
| <i>Zhou et al.</i> | 2015 | Avaliar tratamento de resíduos industriais | Estudo de caso | Identificou baixa taxa de tratamento adequado | Baixa |
| <i>Mickwitz e Melanen</i> | 2009 | Avaliar sistemas de coleta de resíduos | Estudo de caso | Eficiência na coleta está ligada à sustentabilidade | Média |
| <i>Pereira e Vieira</i> | 2016 | Analisar cobertura da coleta de resíduos sólidos | Estudo de caso | Identificaram baixa cobertura em áreas urbanas | Alta |
| <i>Canavese et al.</i> | 2014 | Avaliar coleta de resíduos | Estudo de caso | Necessidade de melhoria | Alta |

| | | | | | |
|-------------------------------|------|---|-----------------------|--|-------|
| | | sólidos em áreas urbanas | | na coleta de resíduos | |
| <i>Choon et al.</i> | 2013 | Estudar coleta de resíduos sólidos em comunidades | Estudo de caso | Identificar os desafios na coleta eficiente de resíduos | Média |
| <i>Braulio-Gonzalo et al.</i> | 2015 | Avaliar indicadores de sustentabilidade em gestão de resíduos | Revisão de literatura | Desenvolver as categorias para avaliação de sustentabilidade | Alta |
| <i>Nader et al.</i> | 2008 | Analisar geração de resíduos hospitalares | Estudo de caso | Destacaram a importância de indicadores específicos para resíduos hospitalares | Baixa |
| <i>Martins e Cândido</i> | 2015 | Avaliar a racionalidade e a ecoenergética na gestão de resíduos | Estudo de caso | Desenvolver os indicadores para a avaliação ecoenergética | Média |
| <i>Turcu</i> | 2012 | Avaliar a sustentabilidade em | Estudo de caso | Desenvolver o sistema de | Baixa |

| | | bairros na Inglaterra | | indicadores participativos | |
|--------------------------|------|--|-----------------------|--|-------|
| <i>Xu e Coors</i> | 2012 | Avaliar sustentabilidade em cidade da Alemanha | Estudo de caso | Desenvolver um sistema de indicadores para sustentabilidade urbana | Baixa |
| <i>Castellani e Sala</i> | 2010 | Avaliar sustentabilidade em sistemas de resíduos sólidos | Revisão de literatura | Desenvolver áreas temáticas para avaliação de sustentabilidade | Média |
| <i>Fehr et al.</i> | 2004 | Avaliar parâmetros de sustentabilidade em gestão de resíduos | Revisão de literatura | Desenvolver parâmetros para avaliação de sustentabilidade | Média |

Fonte: autoras (2025)

- Apenas 5 estudos (19%) apresentaram propostas de sistemas de avaliação de desempenho relacionados ao encerramento de áreas degradadas por resíduos sólidos.
- Nenhum estudo nacional identificou o uso de inteligência artificial para a avaliação ambiental de lixões encerrados.
- A maioria dos artigos se concentrou na análise de impactos (ambientais ou sociais), sem propor ferramentas de monitoramento ou de avaliação contínua.
- Houve uma clara fragmentação temática:

- 12 estudos focaram exclusivamente em aspectos ambientais (ex: qualidade do solo, emissão de gases);
- 6 em aspectos sociais e epidemiológicos;
- apenas 3 consideraram a dimensão econômica ou de governança.
- A ausência de articulação sistêmica entre indicadores ambientais, sociais, econômicos e legais foi apontada como uma lacuna crítica na literatura analisada.
- Entre os estudos internacionais (8 artigos), observou-se maior presença de abordagens integradas e uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), porém ainda com limitada aplicação de tecnologias inteligentes preditivas.

A análise dos documentos legais e normativos revelou a existência de um arcabouço jurídico relativamente robusto no que se refere à gestão e ao encerramento de lixões, mas com baixa efetividade prática. A legislação brasileira, especialmente a Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece objetivos e diretrizes claras para a erradicação dos lixões e para a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. No entanto, os dispositivos legais carecem de instrumentos operacionais de monitoramento e avaliação de desempenho técnico e ambiental.

Entre os principais resultados da análise, destacam-se:

a) Falta de definição operacional de “encerramento de lixão”

A legislação não apresenta critérios técnicos claros que definam quando um lixão pode ser considerado efetivamente encerrado. A ausência de parâmetros mínimos — como tempo de monitoramento, padrões de qualidade ambiental e metas de recuperação ecológica — dificulta o controle e a responsabilização dos entes públicos.

b) Ausência de indicadores mensuráveis

Tanto a PNRS quanto o Decreto nº 7.404/2010 e as resoluções do CONAMA (nº 05/1993, nº 357/2005, nº 420/2009) estabelecem diretrizes gerais, mas não indicam indicadores padronizados para avaliação da eficiência das ações de encerramento. Essa lacuna impede a comparabilidade entre municípios e compromete a elaboração de diagnósticos situacionais.

c) Predomínio de normas prescritivas, com baixa aplicabilidade prática

Normas técnicas da ABNT, como a NBR 10007:2004 (amostragem de resíduos), NBR 14678:2001 (emissões atmosféricas) e NBR 13896:1997 (projeto de aterros sanitários), estabelecem parâmetros técnicos relevantes, porém muitas vezes

desconsideradas em contextos de municípios com baixa capacidade técnica e financeira. Na prática, são pouco utilizadas como base para avaliar os processos de encerramento.

d) Fragilidade nos instrumentos de fiscalização e responsabilização

Foi observada uma deficiência na estrutura normativa no que tange à fiscalização pós-encerramento. A legislação não detalha mecanismos de controle contínuo das áreas reabilitadas, tampouco exige que os municípios mantenham registros atualizados de monitoramento ambiental.

e) Falta de integração entre políticas e escalas de governo

As normas analisadas não preveem mecanismos eficazes de articulação entre União, estados e municípios para o acompanhamento técnico das ações de encerramento. Além disso, não há exigência de interoperabilidade entre sistemas de dados públicos (como SNIS, IBGE, SINAN), o que dificulta a consolidação de uma base nacional unificada.

Assim, A análise demonstrou que, embora existam normas relevantes e bem fundamentadas, elas não operam como um sistema funcional. A ausência de critérios padronizados, indicadores específicos e mecanismos de monitoramento contínuo constitui uma lacuna central no processo normativo. Essa constatação reforça a necessidade da proposta apresentada neste estudo, que busca justamente preencher essas falhas com a criação de um sistema inteligente de avaliação de desempenho ambiental, baseado em evidências e capaz de se integrar à gestão pública municipal.

A análise foi realizada a partir de 17 documentos de domínio público e relevância nacional, entre eles os relatórios do *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil* (ABRELPE – 2014, 2015, 2017, 2021), dados estatísticos do *SNIS* (2020–2022), *censos demográficos do IBGE*, relatórios de auditoria do *TCE-CE*, *TCE-MG* e *TCE-BA*, além de nove Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) obtidos em portais institucionais. A Tabela 2 apresenta os 17 documentos citados.

Tabela 2 – Lista de documentos utilizados na análise

| Nº | DOCUMENTO |
|----|--|
| 1 | Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – ABRELPE (2014) |
| 2 | Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – ABRELPE (2015) |

| | |
|----|--|
| 3 | Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – ABRELPE (2017) |
| 4 | Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – ABRELPE (2021) |
| 5 | SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2020) |
| 6 | SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2021) |
| 7 | SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2022) |
| 8 | Censo Demográfico IBGE (2010) |
| 9 | Censo Demográfico IBGE (2022 – preliminar) |
| 10 | Relatório de Auditoria do TCE-CE sobre Gestão de Resíduos (2021) |
| 11 | Relatório de Auditoria do TCE-MG sobre Gestão de Resíduos (2020) |
| 12 | Relatório de Auditoria do TCE-BA sobre Gestão de Resíduos (2021) |
| 13 | PGIRS do Município de Quixeramobim (CE) |
| 14 | PGIRS do Município de Russas (CE) |
| 15 | PGIRS do Município de Barreiras (BA) |
| 16 | PGIRS do Município de Teófilo Otoni (MG) |
| 17 | PGIRS do Município de Crateús (CE) |

Fonte: autoras (2025)

A leitura integral dos documentos permitiu extrair trechos significativos para as cinco categorias temáticas estabelecidas previamente.

A matriz de análise temática permitiu a organização dos achados em padrões recorrentes, distribuídos conforme as categorias:

a) Aspectos institucionais

Verificou-se grande heterogeneidade institucional entre os municípios. Municípios com menos de 50 mil habitantes relataram dificuldade de manter equipes

técnicas capacitadas, o que compromete o encerramento adequado dos lixões. A adesão a consórcios públicos foi recorrente nos relatórios como tentativa de superação da falta de escala técnica e financeira, mas com baixa consolidação prática (TCE-CE, 2022).

b) Aspectos normativos e legais

A análise revelou que menos de 30% dos PGIRS analisados apresentavam conformidade integral com as diretrizes da PNRS. Muitas vezes, os planos são elaborados para cumprir exigências formais de convênios, mas não são implementados ou atualizados periodicamente. A legislação é citada nos documentos, mas pouco operacionalizada na prática local (PGIRS de Quixeramobim, Russas, Barreiras).

c) Condições operacionais e técnicas dos municípios

A maioria dos documentos evidenciou a inexistência de infraestrutura mínima para encerramento técnico dos lixões. Relatórios do SNIS indicam que 49% dos municípios nordestinos ainda realizavam disposição final em áreas inadequadas em 2022. Apenas 8% relataram uso de sistema de impermeabilização ou drenagem de chorume nos locais desativados.

d) Instrumentos de monitoramento e fiscalização

Foram identificadas fragilidades estruturais nos órgãos municipais e estaduais de fiscalização ambiental. Em alguns estados, como o Ceará, o licenciamento de encerramento sequer é exigido formalmente. Nenhum PGIRS analisado apresentou plano de monitoramento ambiental contínuo após o encerramento dos lixões. Essa lacuna impede aferição de metas de recuperação.

e) Indicadores de desempenho

Nenhum documento apresentou um conjunto estruturado de indicadores de desempenho ambiental, social ou econômico aplicado ao encerramento de lixões. Quando citados, os indicadores eram vagos ou genéricos (ex: “redução de impacto ambiental”), sem métricas, periodicidade de coleta ou linha de base.

A leitura integrada dos documentos revelou um padrão de fragilidade institucional combinada com baixa exigência técnica e normativa, gerando uma cadeia de ineficiência no cumprimento da PNRS. A ausência de sistemas de avaliação padronizados e de indicadores aplicáveis emergiu como um dos principais entraves à efetividade das ações de encerramento.

Verificou-se ainda grande dependência de iniciativas pontuais, geralmente vinculadas a convênios com o governo federal ou projetos piloto estaduais, com pouca replicação sistêmica.

A partir desses achados, foram identificados os seguintes requisitos mínimos para fundamentar o desenvolvimento do sistema inteligente proposto:

- Necessidade de padronização nacional dos indicadores, com base em normas técnicas e metas progressivas.
- Inclusão de mecanismos automáticos de monitoramento ambiental e social, com integração aos sistemas públicos já existentes (SNIS, DATASUS).
- Implementação de interfaces acessíveis para prefeituras, com relatórios automáticos e apoio à gestão municipal.
- Capacidade de retroalimentação dos dados para constante reavaliação do desempenho das áreas encerradas.

Com base na análise documental, na revisão da literatura e na interpretação crítica dos dados secundários, foi consolidada uma proposta conceitual estruturada para o desenvolvimento de um sistema inteligente de avaliação de desempenho ambiental para áreas de encerramento de lixões. A proposta tem como foco a criação de um sistema capaz de integrar dados de diferentes fontes, processar essas informações por meio de algoritmos de Inteligência Artificial e gerar diagnósticos automatizados e rastreáveis para subsidiar a gestão ambiental municipal.

Foram definidos os seguintes eixos de indicadores, com base nos critérios de relevância, disponibilidade de dados e aplicabilidade prática:

- Ambientais: qualidade do solo, da água, do ar e eficiência no controle de chorume e gases.
- Sociais: prevalência de doenças associadas ao passivo ambiental e percepção da comunidade.
- Econômicos: custo do encerramento, custos com saúde pública e geração de emprego.
- Políticos e institucionais: existência de plano de encerramento aprovado, adesão a consórcio e transparência pública.
- Governança: estrutura administrativa, controle social, periodicidade de fiscalização.
- Tecnológicos e de infraestrutura: presença de sistemas de drenagem, vedação, sensores ambientais e manutenção.
- Educação e comunicação: ações de conscientização e feedback da população.
- Inovação e sustentabilidade: uso de tecnologias emergentes, presença de projetos-piloto e monitoramento a longo prazo.

A estrutura do sistema foi organizada em três módulos funcionais, conforme a lógica da cadeia de gestão de dados.

- Módulo 1 – Entrada e pré-processamento de dados

Projetado para receber dados de sensores ambientais (pH do solo, concentração de CH₄ e CO₂, DBO e DQO da água, etc.), dados institucionais (relatórios do SNIS, DATASUS e IBGE) e dados locais (questionários, PGIRS, boletins). Aplicação de normalização (min-max) e padronização (z-score) conforme o tipo de variável.

- Módulo 2 – Modelagem com redes neurais
- Dados tabulares: processados com redes neurais densas (*fully connected layers*).
- Dados de imagens aéreas ou de satélite: processados por redes convolucionais (*CNN*).
- Dados temporais (ex: evolução da qualidade da água): processados por redes recorrentes (*RNN*).
- Módulo 3 – Visualização e apoio à decisão

Interface interativa baseada em dashboards com os seguintes elementos:

- Status dos indicadores por município ou região;
- Classificação automatizada do nível de risco da área encerrada (verde, amarelo, vermelho);
- Relatórios com recomendações de ação corretiva;
- Histórico e evolução dos indicadores com base nos dados inseridos;
- Exportação automática de relatórios em PDF para prestação de contas.

A proposta considerou como requisitos mínimos:

- Adoção de fontes de dados públicas e acessíveis;
- Baixo custo operacional inicial (uso de ferramentas como Python, TensorFlow, QGIS);
- Estrutura modular com possibilidade de integração com sistemas municipais;
- Interface responsiva acessível via navegador web.

A replicabilidade será viabilizada por meio da customização regional dos pesos dos indicadores, permitindo que diferentes realidades ambientais, sociais e econômicas sejam incorporadas ao modelo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo diagnosticar as lacunas na gestão e avaliação do encerramento de lixões no Brasil, fornecendo os fundamentos técnicos e conceituais para a construção de um sistema inteligente de avaliação de desempenho ambiental. Os

resultados obtidos por meio da revisão sistemática da literatura, da análise normativa e da interpretação crítica de dados secundários demonstraram que os desafios persistem em múltiplas dimensões – institucionais, técnicas, legais e operacionais.

Verificou-se que, embora a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) tenha estabelecido diretrizes claras para o encerramento dos lixões, a sua aplicação prática é comprometida pela ausência de indicadores padronizados, pela baixa exigência normativa de monitoramento contínuo e pela inexistência de sistemas de avaliação técnica que permitam mensurar, de forma objetiva e comparável, os avanços alcançados.

A revisão da literatura evidenciou a fragmentação das abordagens, a falta de integração entre os eixos ambientais, sociais e econômicos, e a carência de estudos que incorporem tecnologias emergentes como a Inteligência Artificial. Por sua vez, a análise crítica dos documentos legais e institucionais confirmou que, na prática, os municípios operam com baixa capacidade técnica e sem instrumentos confiáveis de avaliação de desempenho.

Diante desse cenário, foi estruturada uma proposta preliminar para o desenvolvimento de um sistema inteligente, modular e replicável, baseado em redes neurais e abastecido por dados públicos e locais. A arquitetura proposta visa suprir as lacunas identificadas, promovendo eficiência na gestão, transparência nos resultados e maior sustentabilidade no processo de encerramento de lixões.

Como contribuição principal, este artigo propõe a base conceitual e metodológica sobre a qual será desenvolvido, nos próximos estudos, o sistema de avaliação propriamente dito, com validação prática dos indicadores, modelagem computacional e aplicação em estudo de caso real. Espera-se que essa proposta contribua significativamente para o avanço técnico da gestão de resíduos sólidos e para o cumprimento efetivo das metas ambientais estabelecidas pela legislação brasileira.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021*. São Paulo: Abrelpe, 2021. Disponível em: <https://abespb.com.br/wp-content/uploads/2023/12/Panorama-2021-ABRELPE.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2025.
- AIRES, K. O. Monitoramento das concentrações de gases em uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos na cidade de Campina Grande – PB. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014*. São Paulo: ABRELPE, 2014. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS de LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015*. São Paulo: ABRELPE, 2015. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS de LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017*. São Paulo: ABRELPE, 2017. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS de LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021*. São Paulo: ABRELPE, 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

BARREIRAS. *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PGIRS*. Barreiras, 2019. Disponível em: <https://www.barreiras.ba.gov.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 149, p. 3-7, 3 ago. 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Diagnóstico dos Serviços de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2022*. Brasília: MCID, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/snis>. Acesso em: 09 mai. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Diagnóstico dos Serviços de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2020*. Brasília: MDR, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/snis>. Acesso em: 09 mai. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Diagnóstico dos Serviços de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2021*. Brasília: MDR, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/snis>. Acesso em: 09 mai. 2025.

CAMPOS, L. M. S.; MELO, D. A. Indicadores de desempenho dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA): uma pesquisa teórica. *Produção*, v. 18, n. 3, p. 540-555, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/txwDqJXWPnbKxqRpXsQHW4P/>. Acesso em: 22 maio 2025.

CETRULO, N. M. et al. Indicadores de resíduos sólidos em sistemas de avaliação de sustentabilidade local: uma revisão da literatura. *Ambiente & Sociedade*, v. 23, p. e00283, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190028r3vu2020L5AO>.

CETRULO, Natália Molina. Indicadores de resíduos sólidos em sistemas de avaliação da sustentabilidade local: explorando processos participativos. 2020. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100136/tde-05062020-163906/>. Acesso em: 22 maio 2025.

CHOI, H. C.; SIRAKAYA, E. Sustainability indicators for managing community tourism. *Tourism Management*, v. 27, n. 6, p. 1274–1289, 2006.

COSTA, P. R.; et al. Impactos ambientais de lixão a céu aberto no Município de Cristalândia-PI. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 3, n. 4, p. 79-86, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/304715190_Impactos_ambientais_de_lixao_a_celu_aberto_no_Municipio_de_Cristalandia_Estado_do_Piaui_Nordeste_do_Brasil. Acesso em: 22 maio 2025.

CRATEÚS. *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PGIRS*. Crateús, 2021. Disponível em: <https://www.crateus.ce.gov.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2010: Resultados Gerais*. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2022: Resultados Preliminares*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G. A. Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade Urbana: os desafios do processo de mensuração, análise e monitoramento. *Sustentabilidade em Debate*, v. 6, n. 2, p. 138–154, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v6n2.2015.12686>. Acesso em: 22 maio 2025.

MENDES, J. R. L.; et al. Diagnóstico da disposição de resíduos sólidos urbanos no estado da Paraíba. *Revista de Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v. 7, n. 1, p. 1-15, 2021.

PERALTA, L. R.; ANTONELLO, I. T. O desafio enfrentado pelos municípios de pequeno porte para atender à política nacional de resíduos sólidos: o uso do consórcio

intermunicipal. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPEGE, XI, 2015. Anais [...]. Disponível em: <https://encurtador.com.br/0l4CS>. Acesso em: 09 mai. 2025.

PERALTA, L. R.; ANTONELLO, I. T. O desafio enfrentado pelos municípios de pequeno porte para atender à política nacional de resíduos sólidos: o uso do consórcio intermunicipal. In: XI Encontro Nacional da ANPEGE, 2015, Dourados. Anais [...]. Dourados: UFGD, 2015. p. 4018-4029. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/bKHTMyHV88tjhJpfz5N3rkd/>. Acesso em: 22 maio 2025.

QUIXERAMOBIM. *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PGIRS*. Quixeramobim, 2019. Disponível em: <https://www.quixeramobim.ce.gov.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

RUARO, É. C. R.; FRANÇA, R. G. Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos urbanos na região da Associação dos Municípios do Alto Irani (AMAI), Santa Catarina. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 14, n. 6, p. 2191-2197, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/zZpP9HrHZ7rt457QbtBKgNm/>. Acesso em: 22 maio 2025.

RUSSAS. *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PGIRS*. Russas, 2020. Disponível em: <https://www.russas.ce.gov.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

SILVA JÚNIOR, A. G.; et al. Panorama da coleta, da disposição final e das tecnologias de resíduos de serviço de saúde no Nordeste brasileiro. In: CONIMAS – Congresso Nacional Interdisciplinar em Meio Ambiente e Sustentabilidade, 2019, João Pessoa. Anais [...]. João Pessoa: Realize Editora, 2019. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conimas-e-conidis/2019/TRABALHO_EV133_MD4_SA45_ID2433_07112019235910.pdf. Acesso em: 22 maio 2025.

SILVA, A. S. et al. Geração de chorume e sua influência nos corpos d'água. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 26–40, 2020.

SILVA, J. A.; et al. Análise dos impactos ambientais de lixão a céu aberto no município de Cristalândia-PI. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 3, n. 4, p. 79-86, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/304715190_Impactos_ambientais_de_lixao_a_ceu_aberto_no_Municipio_de_Cristalandia_Estado_do_Piaui_Nordeste_do_Brasil. Acesso em: 22 maio 2025.

SOUSA, G. L.; FERREIRA, V. T. E.; GUIMARÃES, J. E. Lixão a céu aberto: implicações para o meio ambiente e para a sociedade. *Revista Valore*, Volta Redonda, v. 4, p. 367–376, 2019.

SOUSA, M. F.; et al. Impactos socioambientais provocados por um vazadouro a céu aberto: uma análise no distrito de Marudá/PA. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336969464_Impactos_socioambientais_provocados_por_um_vazadouro_a_celu_aberto_uma_analise_no_distrito_de_MarudaPA. Acesso em: 22 maio 2025.

TEÓFILO OTONI. *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PGIRS*. Teófilo Otoni, 2020. Disponível em: <https://www.teofilootoni.mg.gov.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DA BAHIA. *Relatório de Auditoria Operacional sobre a Gestão de Resíduos Sólidos na Bahia*. Salvador: TCE-BA, 2021. Disponível em: <https://www.tce.ba.gov.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Relatório de Auditoria: Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: TCE-MG, 2020. Disponível em: <https://www.tce.mg.gov.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO CEARÁ. *Relatório de Auditoria Operacional na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos dos Municípios Cearenses*. Fortaleza: TCE-CE, 2021. Disponível em: <https://www.tce.ce.gov.br/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

VIEIRA, E.; ARANHA, M. S. F. Indicadores sistêmicos para avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 11, n. 3, p. 456-472, 2019.

VIEIRA, J. M.; ARANHA, J. M. Indicadores de desempenho ambiental: uma abordagem sistêmica para gestão de resíduos. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 13, n. 1, p. 21–35, 2019.

VILLA, A.; et al. Gestão de resíduos sólidos e seu impacto na qualidade de vida: caso de estudo do Bairro Torrone Velho (Quelimane – Moçambique). *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 9, n. 2, p. 1-15, 2022. Disponível em: <https://www.revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/1533>. Acesso em: 22 maio 2025.