



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RODRIGO ALVES PAULINO DOS SANTOS

**PROPOSTA DE PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS
PARA O LIXÃO DE JAGUARIBE - CE**

PAU DOS FERROS/RN

2025

RODRIGO ALVES PAULINO DOS SANTOS

**PROPOSTA DE PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS
PARA O LIXÃO DE JAGUARIBE - CE**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho, Prof. Dr.

Co-orientadora: Ingrid Fialho de Miranda

PAU DOS FERROS/RN

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S237p Santos, Rodrigo Alves Paulino dos.
Proposta de plano de recuperação de áreas
degradadas para o lixão de Jaguaribe - CE /
Rodrigo Alves Paulino dos Santos. - 2025.
69 f. : il.

Orientador: Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho.
Coorientador: Ingrid Fialho de Miranda.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2025.

1. Gestão de resíduos sólidos. 2. Semiárido
brasileiro. 3. Segradação ambiental. 4. resíduos
sólidos urbanos. I. Pinto Filho, Jorge Luís de
Oliveira, orient. II. Miranda, Ingrid Fialho de,
co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RODRIGO ALVES PAULINO DOS SANTOS

**PROPOSTA DE PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS
PARA O LIXÃO DE JAGUARIBE - CE**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 04 / 08 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Ingrid Fialho de Miranda
Membro Examinador

Daniela de Freitas Lima, Prof. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Francisca Mirtes Nunes dos Santos
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso marca não apenas o encerramento de uma importante etapa acadêmica, mas também a concretização de um sonho construído com esforço, dedicação e, acima de tudo, com o apoio de pessoas especiais ao longo dessa jornada.

Agradeço, aos meus orientadores, cujas orientações foram fundamentais para a condução e execução deste projeto. Suas contribuições, conhecimentos compartilhados e paciência foram essenciais para o amadurecimento acadêmico e técnico ao longo do trabalho.

Estendo minha gratidão a todos os professores do curso de Engenharia Civil, verdadeiros pilares nesta formação. Cada aula, cada conselho e cada desafio proposto ajudaram a moldar não só o profissional que estou me tornando, mas também o ser humano capaz de enfrentar os desafios da engenharia com ética, responsabilidade e compromisso.

Aos colegas e amigos que dividiram os fardos e as conquistas ao longo desses anos, minha sincera admiração e agradecimento. As trocas de experiências, os trabalhos em grupo, as conversas nos corredores e os momentos de descontração foram essenciais para tornar essa caminhada mais leve e significativa.

Por fim, e de forma muito especial, agradeço à minha família, meu alicerce mais sólido. Pelo apoio incondicional, pelo amor, incentivo e compreensão em todos os momentos especialmente naqueles mais difíceis deixo minha eterna gratidão. Sem vocês, este sonho não teria sido possível.

A todos, meu muito obrigado.

RESUMO

A disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos em lixões a céu aberto ainda constitui uma realidade em muitos municípios brasileiros, especialmente em regiões do semiárido, onde os efeitos da degradação ambiental são intensificados pelas condições climáticas. Tais práticas geram passivos ambientais significativos, comprometendo a qualidade do solo, da água e do ar, além de apresentar riscos à saúde pública. Diante desse cenário, o trabalho apresenta uma proposta de Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) para o antigo lixão do município de Jaguaribe, Ceará. O estudo teve como objetivo diagnosticar as condições ambientais da área afetada e propor ações de recuperação baseadas na técnica de recuperação simples, considerada adequada à realidade local. Elaborar um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) para o lixão do município de Jaguaribe - CE, visando à reabilitação ambiental da área impactada e à mitigação dos danos ambientais causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório, baseada em revisão bibliográfica, análise documental, observação direta em campo. O diagnóstico identificou impactos como contaminação hídrica, emissão de gases de efeito estufa, poluição visual e proliferação de vetores. Como medidas mitigadoras, a proposta contempla o recobrimento dos resíduos com solo argiloso, implantação de cobertura vegetal com espécies nativas da Caatinga, construção de camalhões e bolsões de retenção hídrica, cercamento perimetral e monitoramento ambiental contínuo. Também foram estimados os custos de execução de todas as etapas, totalizando R\$ 136.803,64. Os resultados indicam que a aplicação do PRAD é viável e representa um passo essencial para mitigar os danos ambientais e promover a reabilitação ecológica da área, servindo como instrumento de apoio à gestão ambiental municipal. Para tanto, a aplicação do PRAD é viável e representa uma estratégia eficaz para a reabilitação ambiental da área, sendo também um instrumento técnico de apoio à gestão municipal e à promoção da justiça socioambiental em contextos vulneráveis.

Palavras-chave: gestão de resíduos sólidos; semiárido brasileiro; degradação ambiental; resíduos sólidos urbanos.

ABSTRACT

The improper disposal of municipal solid waste in open dumps remains a reality in many Brazilian municipalities, particularly in semi-arid regions, where environmental degradation is exacerbated by harsh climatic conditions. Such practices generate significant environmental liabilities, compromising the quality of soil, water, and air, and posing risks to public health. In response to this scenario, this study presents a proposal for a Degraded Area Recovery Plan (PRAD) for the former dump site in the municipality of Jaguaribe, Ceará. The objective was to diagnose the environmental conditions of the affected area and propose recovery actions based on the simple recovery technique, considered appropriate for the local context. The study adopted a qualitative, exploratory approach, grounded in literature review, document analysis, and direct field observation. The diagnosis identified impacts such as water contamination, greenhouse gas emissions, visual pollution, and the proliferation of disease vectors. As mitigating measures, the proposal includes covering the waste with clayey soil, implementing native Caatinga vegetation, constructing contour ridges and rainwater retention basins, fencing the perimeter, and establishing continuous environmental monitoring. The total estimated cost for implementing all stages was R\$ 136,803.64. The results indicate that implementing the PRAD is technically and economically feasible and represents a crucial step toward mitigating environmental damage and promoting the ecological rehabilitation of the area. Furthermore, the PRAD serves as a technical instrument to support municipal environmental management and promote socio-environmental justice in vulnerable contexts.

Keywords: solid waste management; brazilian semi-arid region; environmental degradation; municipal solid waste.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Geração de Resíduos Sólidos no Brasil no ano de 2023	15
Figura 2 - Diagrama da estrutura e do funcionamento de um aterro sanitário	19
Figura 3 - Presença de vazadouros a céu aberto (lixões) ou localizados em áreas alagadas ou suscetíveis a alagamentos, por município	20
Figura 4 - Mapa de localização do município de Jaguaribe/CE	27
Figura 5 - Mapa de Localização do lixão de Jaguaribe/CE	28
Figura 6 - Fases dos procedimentos Metodológicos	31
Figura 7 - Lixão a céu aberto, Jaguaribe - CE	40
Figura 8 - Queima do lixo a céu aberto na cidade de Jaguaribe	37
Figura 9 - Catadores no lixão a céu aberto na cidade de Jaguaribe	38
Figura 10 - Camalhão em nível	48
Figura 11 - Recobrimento dos resíduos com camada de solo e argila.	49
Figura 12 - Sentido do escoamento da água	51
Figura 13 - Detalhes do poço de monitoramento	52
Figura 14 - Esquema do cercamento com arame farpado previsto para o antigo lixão de Jaguaribe/CE.	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação e riscos potenciais dos resíduos sólidos identificados no lixão de Jaguaribe-CE 34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativas dos custos da fase de planejamento do PRAD – Jaguaribe/CE	58
Tabela 2 - Estimativa de custo para a implantação de um sistema de irrigação simples Jaguaribe/CE	59
Tabela 3 - Estimativa de custos para o maquinário e mão de obra para o recobrimento dos resíduos – Jaguaribe/CE	60
Tabela 4 - Total dos custos do PRAD - Jaguaribe/CE	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Resíduos sólidos urbanos	14
3.2 Destinação final dos resíduos sólidos e seus impactos	18
3.3 Recuperação de áreas degradadas de lixões	22
4 METODOLOGIA	26
4.1 Classificação da pesquisa	26
4.2 Área de estudo	27
4.3 Procedimentos metodológicos	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1 Destinação dos resíduos sólidos no município de Jaguaribe-CE	34
5.2 Caracterização do lixão de Jaguaribe-CE	39
5.3 Estruturação do PRAD do lixão de Jaguaribe-CE	44
5.3.1 Limpeza da Área e Construção de Camalhões em Nível	46
5.3.2 Recobrimento do Lixão com Solo	48
5.3.3 Construção de Bolsões para Retenção de Águas Pluviais	49
5.3.4 Implantação do Monitoramento da Água Subterrânea	51
5.3.5 Implantação de Cerca Viva	52
5.3.6 Implantação da Cobertura Vegetal	54
5.3.7 Cercamento e Identificação da Área	55
5.3.8 Monitoramento da Área	56
5.4 Custos para execução do PRAD do Lixão de Jaguaribe-CE	57
6 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por bens e serviços essenciais à sociedade, aliada ao acelerado crescimento populacional e à expansão desordenada dos centros urbanos, tem gerado um aumento expressivo na produção de resíduos sólidos urbanos (Gomide, 2018). Essa realidade é agravada pela ausência de planejamento urbano e ambiental eficiente, resultando no descarte irregular desses resíduos em áreas impróprias, o que compromete severamente o meio ambiente e a saúde pública (Santos et al., 2024).

Entre os efeitos mais alarmantes desse cenário, destaca-se a persistência de lixões a céu aberto, que ainda são uma realidade em inúmeros municípios brasileiros. Esses espaços refletem, de forma contundente, a ineficácia das políticas públicas voltadas para a gestão de resíduos, expondo tanto a carência de conhecimento técnico-operacional quanto a negligência dos poderes públicos diante dessa questão (Nascimento; Oliveira, 2025).

Grande parte dos resíduos sólidos urbanos não recebe destinação final ambientalmente adequada e tampouco é submetida a processos de reaproveitamento ou reciclagem, o que amplia consideravelmente os impactos socioambientais negativos. As consequências extrapolam a poluição visual, atingindo diretamente o solo, os recursos hídricos e a qualidade do ar, além de expor comunidades vulneráveis a riscos sanitários constantes (Leite *et al.*, 2021).

A contaminação dos corpos hídricos, por exemplo, compromete a biodiversidade e coloca em risco a segurança hídrica das populações locais, especialmente em regiões como o Semiárido nordestino, onde a escassez de água já é um desafio histórico. A lenta decomposição de resíduos descartados de forma inadequada resulta na liberação de substâncias tóxicas que perpetuam um ciclo contínuo de degradação ambiental (Leite et al., 2021).

Nesse contexto, os lixões se consolidam como fontes permanentes de poluição e geradores de severos passivos ambientais, cuja remediação demanda medidas técnicas eficazes e integradas. A elaboração e implementação de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) surge como uma estratégia fundamental para mitigar os danos causados por esse tipo de disposição inadequada.

O PRAD visa a reabilitação ambiental por meio de ações que promovam a recuperação do solo, da água, do ar e da biodiversidade, contribuindo também para a melhoria da qualidade de vida das populações afetadas (IBAMA, 2011). Sua estrutura contempla o diagnóstico ambiental da área impactada, a proposição de medidas corretivas e a implementação de

soluções adaptadas às especificidades locais, com base em princípios de sustentabilidade e equilíbrio ecológico.

O município de Jaguaribe, no estado do Ceará, representa um caso emblemático da urgência na aplicação de tais medidas. A cidade convive atualmente com um grave passivo ambiental provocado por um lixão a céu aberto, que compromete tanto o meio ambiente quanto a saúde pública. A ausência de infraestrutura adequada, como sistemas de impermeabilização e tratamento de chorume, agrava o risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais (Pacheco et al., 2022).

Esse risco é ainda mais crítico em virtude da localização geográfica de Jaguaribe no Semiárido, onde a irregularidade das chuvas e a escassez de mananciais naturais tornam indispensável a proteção dos recursos hídricos existentes (Leite et al., 2021).

Paralelamente, a construção de um aterro sanitário regional, por meio do Consórcio de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Vale do Jaguaribe (CGIRS-VJ, 2025), representa um avanço significativo na gestão de resíduos na região. No entanto, a simples desativação do lixão não é suficiente para eliminar os impactos ambientais acumulados ao longo dos anos.

A necessidade de recuperação ambiental da área degradada exige a elaboração de um PRAD específico, que contemple a remediação do solo, o monitoramento da qualidade da água, o controle de emissões atmosféricas e a recomposição da vegetação local.

Assim, este trabalho propõe-se a investigar de que maneira a degradação ambiental causada pela disposição inadequada de resíduos sólidos no lixão de Jaguaribe-CE compromete a qualidade dos recursos hídricos e a sustentabilidade ambiental local, bem como avaliar como a elaboração e implementação de um PRAD pode contribuir para a mitigação desses impactos. A abordagem busca aprofundar a compreensão da relação entre resíduos sólidos, degradação ambiental e segurança hídrica, especialmente em contextos de elevada vulnerabilidade como o Semiárido brasileiro.

Portanto, a realização deste estudo justifica-se pela urgência de intervenções estruturadas que promovam a recuperação ambiental e assegurem a sustentabilidade dos territórios afetados por práticas ineficientes de gestão de resíduos sólidos. Com isso, a elaboração de um PRAD para o município de Jaguaribe não apenas representa o cumprimento de uma exigência legal conforme estabelecido pela Instrução Normativa nº 04/2011 do IBAMA como também se constitui em um passo estratégico para a promoção da saúde pública, da segurança hídrica e da qualidade ambiental. Ao fornecer subsídios técnicos e metodológicos, o presente trabalho almeja contribuir para a formulação de políticas públicas mais eficazes e para

o fortalecimento da gestão ambiental em municípios de pequeno e médio porte, em especial na região Nordeste.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Elaborar um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) para o lixão do município de Jaguaribe - CE, visando à reabilitação ambiental da área impactada e à mitigação dos danos ambientais causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a área do Lixão de Jaguaribe-CE;
- Identificar e avaliar os principais impactos ambientais decorrentes da disposição irregular de resíduos sólidos no Lixão de Jaguaribe-CE;
- Propor medidas técnicas e diretrizes para execução do PRAD no Lixão de Jaguaribe-CE;
- Determinar os custos para execução do PRAD no Lixão de Jaguaribe-CE.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Resíduos sólidos urbanos

A gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil tem se mostrado um desafio complexo a ser enfrentado. Com a pandemia que assolou o mundo, os municípios brasileiros passaram a lidar, além das dificuldades já existentes, com novos obstáculos, como a súbita variação na geração de resíduos, geralmente com tendência de aumento (ABRELPE, 2020; Penteado; Castro, 2021). Nesse contexto, para Nzeadib e Ejike-Alieji (2020) torna-se ainda mais evidente a relevância do sistema de RSU como um serviço público essencial, embora, por vezes, subestimado.

De acordo a Lei Federal nº 12.305 de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), conceitua resíduo sólido como:

“[...] todo e qualquer material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, no estado sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Brasil, 2010)”.

De acordo com o panorama de resíduos sólidos divulgado pela Associação de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA) (ABREMA, 2024), em 2023, foi registrada uma redução na taxa de desemprego no Brasil, o que sugere um possível aumento no poder de compra da população.

Com base nessa variação, estima-se que a geração média de resíduos sólidos urbanos (RSU) per capita tenha apresentado um leve crescimento, inferior a um ponto percentual. Neste ano, cada habitante gerou, em média, 1,047 kg de RSU por dia. Isso resulta em uma estimativa anual de aproximadamente 81 milhões de toneladas de resíduos, o que equivale a mais de 221 mil toneladas geradas diariamente ou cerca de 382 kg de RSU por habitante ao longo do ano.

O Figura 1 fornece dados atualizados sobre a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil em 2023, destacando dois indicadores principais: a geração per capita anual (382 kg por habitante) e a geração total anual (80.957.467 toneladas). Esses números são representados de forma visual, com uso de ícones que facilitam a interpretação e tornam os dados mais acessíveis ao público em geral.

Figura 1 - Geração de Resíduos Sólidos no Brasil no ano de 2023



Fonte: ABREMA (2024)

Devido à diversidade dos resíduos gerados, existem diversas formas de classificação. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), é fundamental analisar as condições e as características específicas de cada material para que sua classificação seja adequada. De acordo com Rodrigues (2015), a classificação e a caracterização dos resíduos sólidos exigem a análise das condições de cada material, considerando suas propriedades físicas, químicas, biológicas, bem como sua origem. Essa diferenciação tem como finalidade viabilizar o gerenciamento adequado dos resíduos, conforme sua tipologia.

A norma técnica NBR 10.004/2004 estabelece a classificação dos resíduos com base em seu potencial de contaminação ao meio ambiente e aos riscos que oferecem à saúde pública.

- a) Resíduos classe I - Perigosos;
- b) Resíduos classe II – Não perigosos;
 - Resíduos classe II A – Não inertes.
 - Resíduos classe II B – Inertes.

Classe I – Resíduos Perigosos: são aqueles que indicam algum dano à saúde pública e ao meio ambiente, requerendo tratamento e uma acomodação especial em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Como exemplo, tem-se os radioativos, inflamáveis, com risco químico, infectantes, entre outros. Classe IIA – Resíduos não perigosos e não inertes: são os que apresentam uma particularidade tais como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Os resíduos domésticos são exemplos dessa classe.

Classe IIB – Resíduos não perigosos e inertes: são aqueles que, estão sujeitos a um contato estático ou dinâmico com a água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente. A exemplo, tem-se os resíduos de construção civil.

Além disso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) descreve o critério de peculiaridade como classificatório, porém não distingue os não inertes dos inertes. Diante disso a Lei nº 12.305/2010 em seu artigo 13º elenca distintas fontes de origem do resíduo, as quais podem ser:

- a) resíduos domiciliares: oriundos da atividade doméstica;
- b) resíduos de limpeza urbana: provenientes da limpeza urbana (varrição, limpeza de logradouros e vias públicas);
- c) resíduos sólidos urbanos: a soma das alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: são os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: resíduos gerados nessas atividades, excluindo os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: gerados na indústria e no seu processo de produção;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme regulamento e normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de vigilância Sanitária (SNVS);
- h) resíduos da construção civil: gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: oriundos das atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: provenientes da atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios. A geração de resíduos sólidos tem-se elevado, o que tem desencadeado problemas ambientais, dessa forma demandando a necessidade da promoção da gestão destes, além de ações estratégicas voltadas à promoção do gerenciamento de resíduos sólidos.

A PNRS instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, estabelece que a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) devem seguir uma ordem de prioridade. Essa hierarquia contempla, respectivamente: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e, por fim, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Tal ordenamento visa priorizar práticas menos prejudiciais ao meio ambiente, promovendo a transição para uma economia mais circular e sustentável.

Nesse contexto, o Brasil está em fase de transição: saindo de um sistema exclusivo de disposição inadequada de resíduos no solo e caminhando para um modelo mais sustentável de gerenciamento de RSU, incorporando outras formas de tratamento e aproveitamento desse material (ABREMA, 2024).

Dando continuidade às observações feitas pela ABREMA (2024), o país já apresenta iniciativas consolidadas de reciclagem para diversos materiais secos e, mais recentemente, tem ampliado o foco para a reciclagem de resíduos orgânicos. Paralelamente, alternativas voltadas ao aproveitamento energético como a produção de combustível derivado de resíduos, biogás e biometano vêm ganhando espaço e relevância no cenário nacional, indicando avanços rumo a uma gestão mais sustentável dos resíduos sólidos.

De acordo com a Lei nº 12.304/2010, em seu Art. 3º, § XI, a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (GIRS) é definida como “Conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável” (Brasil, 2010). Já o gerenciamento de resíduos sólidos remete a:

“o conjunto de etapas relativas ao manejo propriamente dito dos resíduos, e que contempla desde a geração, passando pelo acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, transferência, tratamento, destinação final ambientalmente adequada e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. (Brasil, 2010).”

Conforme estabelecido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), a responsabilidade pela gestão dos resíduos sólidos urbanos, desde a coleta até a disposição final, é atribuída aos municípios brasileiros. Segundo Carbonai et al. (2020), esse marco legal instituiu um conjunto de instrumentos e diretrizes, entre os quais se destaca a obrigatoriedade da elaboração de planos estaduais e municipais de gestão de resíduos, com prazo de até dois anos a partir da promulgação da lei para sua implementação.

Compreender os conceitos e aspectos gerais dos resíduos sólidos urbanos é essencial para planejar sua destinação final de forma adequada. Quando mal geridos, esses resíduos podem causar sérios impactos ambientais, como a contaminação do solo e da água, reforçando a importância de práticas sustentáveis na gestão urbana.

3.2. Destinação final dos resíduos sólidos e seus impactos

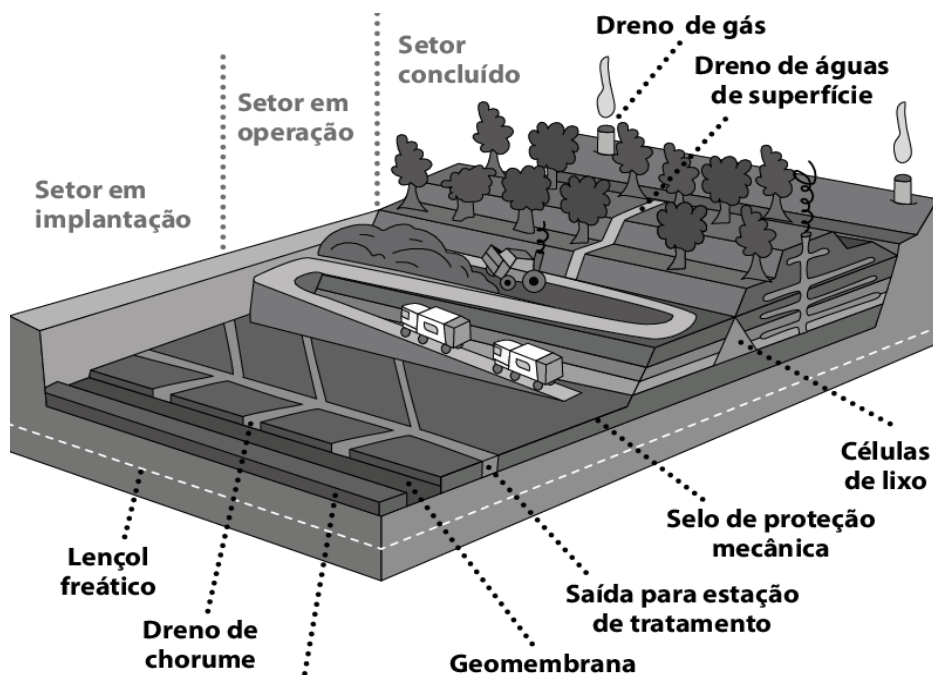
A prática da deposição de resíduos sólidos a céu aberto é considerada ilegal, pois, com a instituição da Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), não pode haver a criação de novos lixões e os que estão em funcionamento devem ser fechados. A PNRS obriga que todos os municípios do País depositem seus resíduos em locais ambientalmente adequados, quando esses resíduos não possuírem mais chances de serem reaproveitados (Brasil, 2012).

Para Melo (2017) a disposição final ambientalmente inadequada ocorre quando não são atendidos, de forma integral, os critérios legais e normativos de engenharia e de proteção ao solo, à água e ao ar. Esse tipo de descarte é comumente identificado na literatura como lixão ou aterro controlado. Conforme estabelece a PNRS, existem apenas duas formas de disposição final: a ambientalmente inadequada, proibida por lei, e a ambientalmente adequada, que é a única legalmente permitida.

A Lei n° 12.305 de 2010, em seu Art. 3º, § VIII, define que a disposição final ambientalmente adequada é aquela com distribuição ordenada de rejeitos em aterros, de acordo com normas operacionais específicas, sendo a única forma ainda permitida por lei o aterro sanitário, pois trata da maneira que evita danos ou riscos à saúde pública e à segurança, além de minimizar impactos ambientais adversos. De acordo com a NBR 10.004/2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os resíduos sólidos podem ser dispostos de diferentes formas, sendo as principais: aterro sanitário, aterro controlado e lixão.

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (CETESB) (2020), o aterro sanitário (Figura 2) representa uma evolução de uma das mais antigas tecnologias utilizadas pelo ser humano para a eliminação de resíduos. Trata-se de uma obra de engenharia projetada para dispor os resíduos no solo da forma mais compacta possível, buscando minimizar os impactos ao meio ambiente e à saúde pública. No entanto, a própria CETESB aponta críticas relacionadas ao uso desta técnica, sobretudo pelo fato de que, mesmo sendo uma solução mais segura, ela não contempla o tratamento prévio ou a reciclagem dos materiais descartados, o que limita seu potencial sustentável.

Figura 2 - Diagrama da estrutura e do funcionamento de um aterro sanitário

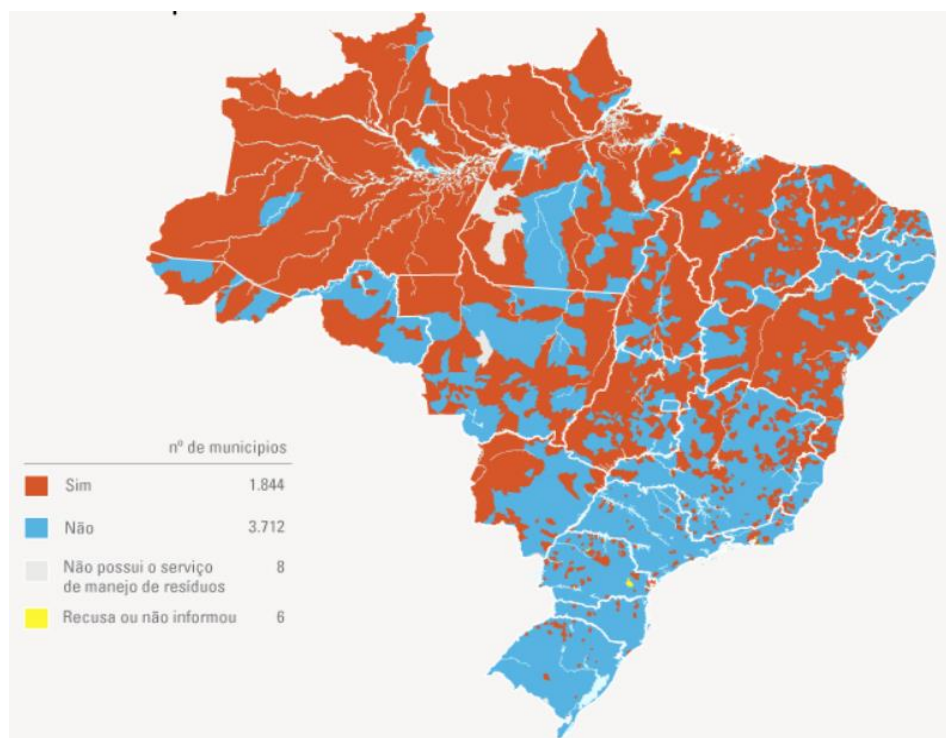


Fonte: ResearchGate (2017)

Segundo Fernanda Malta, gerente da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, "o lixão e o aterro controlado são muito semelhantes, mas ambos se diferenciam do aterro sanitário. O lixão não possui nenhum tipo de controle, enquanto o aterro controlado, como o nome sugere, apresenta algum nível de gestão, porém sem garantir total adequação ambiental. Já o aterro sanitário foi construído para isso, portanto possui toda a estrutura necessária, como o tratamento do chorume, por exemplo" (Agência GOV, 2024).

Entre as grandes regiões, os lixões ainda eram utilizados em 73,8% dos municípios na Região Norte, 51,6% no Nordeste, 52,9% no Centro-Oeste, 12,1% no Sudeste e 5,7% no Sul. Os dados são do Suplemento de Saneamento da Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC) 2023 (Agência GOV, 2024). A Figura 3 identifica a quantidade de municípios com disposição final inadequada de resíduos sólidos em vazadouros a céu aberto.

Figura 3 - Presença de vazadouros a céu aberto (lixões) ou localizados em áreas alagadas ou suscetíveis a alagamentos, por município



Fonte: Pesquisa de informação básica municipais, 2024

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024 (ABREMA, 2024), apenas 58,5% dos resíduos sólidos urbanos gerados em 2023 tiveram uma destinação ambientalmente adequada. O estudo revela ainda que 41,5% dos resíduos descartados pela população foram destinados de forma inadequada, sendo que os lixões absorveram 35,5% do total gerado no país.

De acordo com ABREMA (2024), em 2023, a região Sudeste foi responsável pelo maior volume de resíduos sólidos urbanos no Brasil, com quase 40 milhões de toneladas, o que corresponde a 49,3% do total gerado no país. Na outra ponta, a região Norte foi a que menos produziu resíduos, respondendo por apenas 7,5% do total nacional — cerca de 16,5 mil toneladas diárias e pouco mais de 6 milhões de toneladas no ano. Em números absolutos, o Centro-Oeste gerou 7,7% dos resíduos, o Sul foi responsável por 10,8%, e o Nordeste, por 24,7% do total de resíduos sólidos urbanos do país.

A disposição inadequada dos resíduos sólidos é um dos principais desafios enfrentados pela gestão ambiental em áreas urbanas e rurais, resultando em diversos impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública. Essa prática, ainda comum em muitas localidades brasileiras,

contribui significativamente para a degradação dos ecossistemas e para o comprometimento da qualidade de vida da população.

A disposição inadequada dos resíduos sólidos pode causar sérios danos ao meio ambiente, como a contaminação do solo, da água e do ar, além de representar riscos à saúde pública (Dias, 2011, p. 452).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) define impacto ambiental como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições sanitárias do meio ambiente, a qualidade dos recursos ambientais (Brasil, 1986).

Um dos principais problemas gerados por esse tipo de disposição está relacionado à contaminação do solo e dos recursos hídricos, em especial pela infiltração do chorume, um líquido altamente poluente gerado pela decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos. Quando não há sistemas adequados de impermeabilização e drenagem, esse líquido alcança os lençóis freáticos e os cursos d'água, tornando a água imprópria para consumo e usos diversos (Silva et al., 2023).

Além disso, os resíduos depositados em locais irregulares favorecem a proliferação de vetores de doenças, como roedores, mosquitos e baratas, o que aumenta significativamente os riscos à saúde da população. Tais condições contribuem para a disseminação de doenças como leptospirose, dengue, entre outras enfermidades de veiculação hídrica e vetorial (Silva et al., 2023). Dados recentes indicam que doenças relacionadas à ausência de saneamento básico e ao descarte inadequado de resíduos sólidos foram responsáveis por aproximadamente 7,8% dos óbitos por internações no Brasil entre 2021 e 2023 (Associação..., 2023).

Outro aspecto preocupante diz respeito à poluição atmosférica, causada principalmente pela queima de resíduos sólidos. Essa prática libera poluentes tóxicos, como dioxinas e furanos, que são prejudiciais tanto à saúde humana quanto ao meio ambiente, podendo provocar doenças respiratórias e efeitos cancerígenos (CETESB, 2024; Ferraz; Torres, 2023).

O descarte inadequado de resíduos também favorece o assoreamento de rios, o entupimento de sistemas de drenagem urbana e o aumento da ocorrência de alagamentos e enchentes, especialmente em períodos de chuvas intensas. Além disso, a poluição visual, a

degradação da paisagem urbana e os danos à fauna e à flora locais são consequências diretas desse tipo de prática.

Os impactos ambientais decorrentes da presença de lixões a céu aberto têm sido amplamente documentados na literatura científica e técnica, evidenciando a gravidade dos passivos ambientais gerados por essa forma inadequada de disposição de resíduos sólidos. Esses impactos incluem a contaminação do solo, da água subterrânea e superficial, a proliferação de vetores, além da degradação da paisagem e dos ecossistemas locais.

No cenário nacional, Betio e Moreira dos Santos (2017) analisaram o antigo lixão de Rolândia, no Paraná, identificando a presença de contaminantes nas águas subterrâneas, como nitrato e metais pesados, o que compromete sua potabilidade e uso seguro. Em uma revisão sistemática, Aquino et al. (2022) apontaram a presença recorrente de substâncias tóxicas no solo e nas águas subterrâneas próximas a lixões em diversos estados brasileiros, como condutividade elevada, DBO, DQO, nitrato, além de metais como cádmio, cobre e zinco. Esses dados corroboram os achados de Jesus (2020), que, ao investigar um lixão desativado no estado do Rio de Janeiro, encontrou concentrações significativas de cloreto, nitrogênio amoniacal e carbono orgânico total, indicando processos ativos de degradação ambiental mesmo após a desativação da área. De forma complementar, Troyack e Stuermer (2022) relataram contaminações graves por BTEX, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) e metais pesados na área do antigo aterro de Jardim Gramacho, no Rio de Janeiro, recomendando, inclusive, restrições no uso da água subterrânea.

No contexto do semiárido brasileiro, onde a vulnerabilidade hídrica e os solos rasos potencializam os efeitos da poluição, os estudos também têm avançado. Rios e Rabelo (2021), ao analisarem sub-bacias hidrográficas no estado da Bahia, identificaram lixões como importantes fontes de risco à contaminação de aquíferos, principalmente em municípios de pequeno porte e com baixa capacidade institucional de gestão de resíduos. Esses achados ganham ainda mais relevância quando se observa que muitas dessas áreas carecem de sistemas eficientes de saneamento básico e de controle ambiental, o que amplia os danos à saúde pública e ao meio ambiente. Assim, os estudos reforçam que a superação dos passivos ambientais associados aos lixões exige soluções integradas que combinem ações de recuperação ambiental, tecnologias adequadas à realidade local e o fortalecimento das políticas públicas de resíduos sólidos, especialmente em regiões semiáridas onde os recursos naturais são mais limitados e sensíveis às alterações provocadas por esse tipo de degradação.

3.3. Recuperação de áreas degradadas oriundas de lixões

A existência de lixões é um problema global que afeta muitos países em todo o mundo. De acordo com o Banco Mundial, cerca de 40% de todos os resíduos sólidos gerados no mundo são descartados em lixões e isso representa uma grande ameaça ao meio ambiente, pois podem contaminar o solo e as águas subterrâneas, além de emitir gases poluentes, criando condições suscetíveis para o aumento do aquecimento global (Mariz, 2021).

O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) é um instrumento técnico que visa orientar a recuperação ambiental de áreas afetadas por atividades humanas. Segundo a Instrução Normativa nº 14/2024 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o PRAD é definido como: “um conjunto de ações planejadas e sistematizadas destinadas à recuperação, restauração ou reabilitação de áreas ambientalmente degradadas, com o objetivo principal de restabelecer a estabilidade da paisagem e as funções ecossistêmicas originais”.

Conforme a Instrução Normativa n.º 14, de 01 de julho de 2024, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), considera-se área degradada aquela que perdeu sua capacidade de regeneração natural, impossibilitando o retorno a um ecossistema semelhante ao seu estado original conhecido (IBAMA, 2024).

Além disso, é fundamental compreender os conceitos de recuperação, reabilitação e restauração ambiental. Segundo o próprio IBAMA (1990), o termo *recuperação* refere-se ao processo em que uma área degradada é conduzida a um novo uso do solo, previamente definido em um plano técnico. Nessa perspectiva, a área passa a apresentar condições mínimas para o estabelecimento de um novo equilíbrio dinâmico, com formação de novo solo e paisagem compatível com a nova função ambiental atribuída.

Segundo Viana (1990), a reabilitação ambiental consiste em um conjunto de intervenções voltadas à recuperação parcial de uma ou mais funções do ecossistema, sejam elas de caráter econômico e/ou ambiental. De acordo com o IBAMA (2024) trata-se de atribuir ao ambiente degradado uma nova funcionalidade compatível com o uso humano, essa prática envolve ações planejadas que visam melhorar o desempenho ecológico da área impactada, ainda que não promovam, necessariamente, a restauração completa da composição, estrutura e funcionamento do ecossistema original, também denominado ecossistema de referência.

O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) é conduzido conforme objetivos discutidos com o proprietário (ou proponente), alinhados com o técnico responsável pelo projeto e acompanhamento, conforme Instrução Normativa nº4, de 13 de abril de 2011, o

proprietário deve assinar também o “Termo de Compromisso de Reparação de Dano Ambiental”, que será anexado ao PRAD a ser apresentado (Almeida, 2016).

De acordo com Almeida (2016), a elaboração de um PRAD deve seguir métodos e procedimentos específicos, os quais envolvem:

- a) Considerações e planejamento;
- b) Identificação dos agentes de degradação;
- c) Delimitação das áreas de influência;
- d) Avaliação do grau de degradação.

A Resolução CONAMA nº 420, de 2009, que dispõe sobre critérios e diretrizes para a gestão ambiental de áreas contaminadas, recomenda a adoção de procedimentos e ações específicas voltadas a investigar e ao gerenciamento dessas áreas:

- Identificação - serão identificadas áreas suspeitas de contaminação com base na avaliação preliminar, e, para aqueles em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória;
- Diagnóstico - inclui a investigação detalhada e investigação de risco, com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação;
- Intervenção - execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou dedução a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa de diagnóstico, considerando o uso atual e futuro da área;
- Monitoramento - acompanhamento e verificação da eficácia das ações executadas.

Diversos estudos têm se dedicado à elaboração e aplicação de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs) em antigos lixões, visando mitigar os impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de resíduos sólidos. Em nível nacional, destacam-se experiências como a de Lomolino, Soares e Nishiyama (2020), que desenvolveram um PRAD para o antigo lixão do município de Estrela do Sul (MG), estruturado em etapas de isolamento da área, cobertura com solo e revegetação. De modo semelhante, Salvador (2013) analisou cada fase do PRAD aplicado no lixão de Garopaba (SC), desde o diagnóstico ambiental até a definição de diretrizes de recuperação. Já Siqueira et al. (2022) propuseram um plano para uma área urbana degradada em Rondônia, com ênfase no monitoramento contínuo e na articulação com a comunidade local.

No semiárido brasileiro, essa abordagem também vem sendo explorada em estudos específicos. Souza e Costa (2017) avaliaram a eficácia de técnicas de revegetação com espécies

nativas em lixões desativados no sertão nordestino, demonstrando a importância da escolha de vegetação adaptada às condições locais. Por sua vez, Santos et al. (2021) propuseram metodologias de recuperação ambiental de baixo custo para municípios de pequeno porte no interior do Ceará, priorizando soluções práticas e viáveis diante das restrições econômicas da região. Complementando essas iniciativas, o trabalho de Maia (2024) apresentou uma proposta de PRAD para o lixão de Pau dos Ferros (RN), destacando intervenções como o cercamento da área, a cobertura com solo argiloso, a implantação de cinturão verde e estratégias de monitoramento ambiental compatíveis com o contexto edafoclimático do semiárido.

Essas experiências demonstram que, mesmo diante de limitações técnicas e financeiras, é possível estruturar ações efetivas de recuperação ambiental em lixões, desde que essas estejam adequadas às especificidades climáticas, edáficas e socioeconômicas locais. A análise comparativa dos PRADs evidencia que estratégias como a cobertura do solo, a revegetação com espécies adaptadas, o manejo das águas pluviais e o monitoramento ambiental contínuo são fundamentais para o êxito da recuperação. Neste sentido, o presente trabalho dialoga com essas contribuições ao propor diretrizes adaptadas à realidade do semiárido cearense, reforçando a importância da gestão técnica integrada para a reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos.

4. METODOLOGIA

4.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa se insere no campo da investigação científica, fundamentando-se na formulação de um problema passível de solução por meio de métodos e técnicas científicas. Segundo Gil (2017), a pesquisa científica busca solucionar problemas adotando procedimentos sistemáticos que possibilitam ao pesquisador obter respostas embasadas nesses métodos.

Com base em seus objetivos gerais, este estudo é classificado como uma pesquisa exploratória, cujo propósito é ampliar a compreensão do problema, tornando-o mais claro e auxiliando na formulação de hipóteses. Para isso, emprega revisão bibliográfica e análise de casos exemplares, conforme destaca Gil (2002).

No que diz respeito à abordagem metodológica, a pesquisa adota uma perspectiva qualitativa. Esse método tem caráter descritivo, não podendo ser quantificado, e seus dados são interpretados de forma indutiva, exigindo uma análise detalhada dos fenômenos estudados. De acordo com Gil (2017), a abordagem qualitativa é especialmente indicada para estudos de caso e outras metodologias investigativas que demandam interpretação aprofundada dos dados.

Além disso, a pesquisa se configura como um estudo de caso e utiliza a técnica de observação. Segundo Gil (2019), essa técnica consiste em examinar, escutar e registrar fenômenos ou fatos relacionados ao objeto de estudo, sendo fundamental para o processo de descoberta científica. A observação permite ao pesquisador um contato mais próximo com a realidade investigada, favorecendo uma compreensão aprofundada do tema.

No que tange aos objetivos, o estudo reafirma sua classificação como pesquisa exploratória, buscando proporcionar maior familiaridade com o problema e contribuir para a formulação de hipóteses. Como aponta Gil (2017), esse tipo de investigação frequentemente utiliza estudos de caso e levantamento bibliográfico como estratégias metodológicas.

A pesquisa bibliográfica, conforme Marconi e Lakatos (2017), baseia-se em materiais previamente publicados, como livros, artigos científicos, jornais e resenhas. Esse procedimento visa reunir e analisar criticamente as contribuições teóricas sobre um determinado tema, permitindo atualização e aprofundamento do conhecimento na área. Dessa forma, a revisão bibliográfica desempenha um papel essencial na fundamentação teórica da pesquisa, reunindo informações relevantes que agregam valor ao estudo.

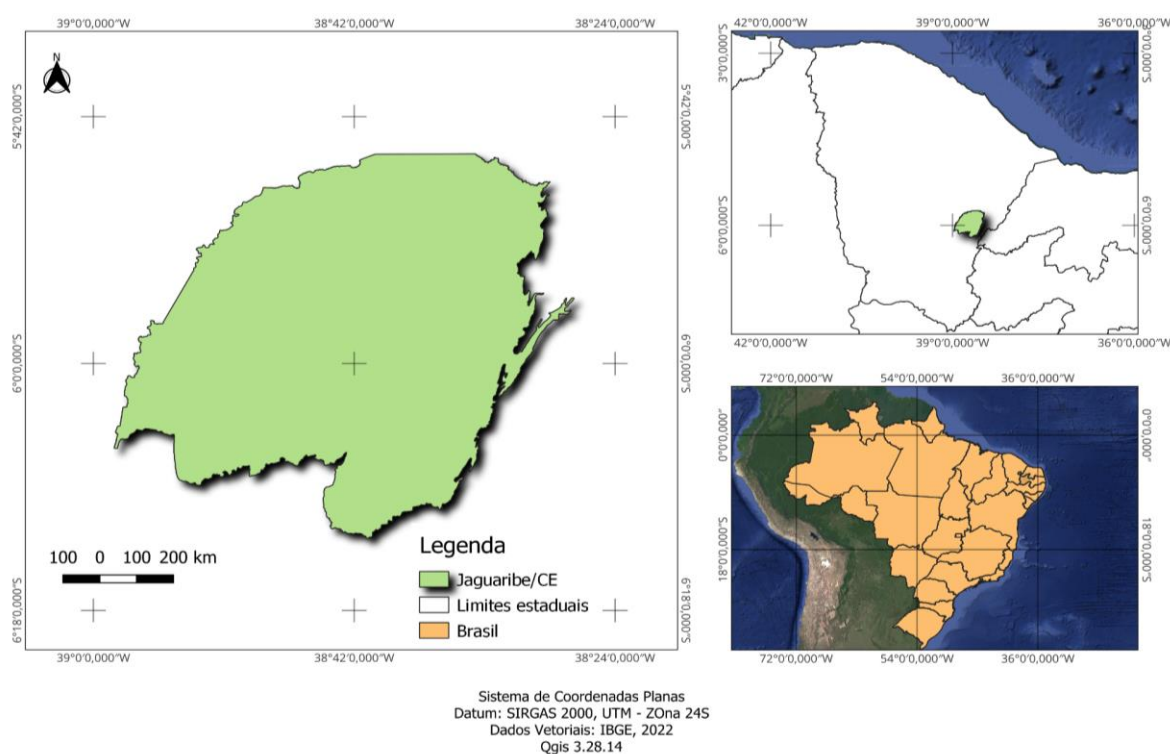
Por fim, a pesquisa bibliográfica se caracteriza como um conjunto de procedimentos adotados para identificar, analisar e interpretar trabalhos já desenvolvidos sobre o tema em

questão. Esse processo possibilita a construção de uma base teórica sólida, essencial para a compreensão e solução da problemática investigada.

4.2. ÁREA DE ESTUDO

O estudo se localiza no município de Jaguaribe (Figura 4), que se centraliza no estado do Ceará, possui uma área territorial de 1.877,062 km² e uma população de 33.726 habitantes, conforme os dados do Censo Demográfico de 2022, resultando em uma densidade populacional de 17,97 habitantes por km². Seus habitantes são denominados jaguaribanos (IBGE, 2024).

Figura 4 - Mapa de localização do município de Jaguaribe/CE



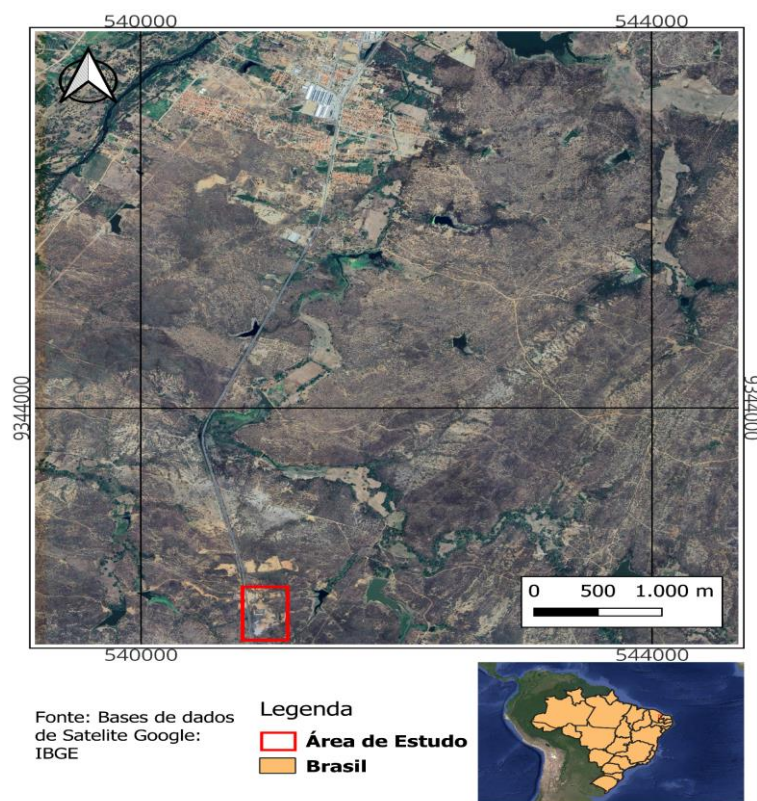
Fonte: Google Maps (2025)

A história administrativa de Jaguaribe remonta à sua elevação à categoria de cidade sob a denominação de Jaguaribe-Mirim, conforme estabelecido pela Lei Estadual nº 1.532, de 12 de agosto de 1918. Posteriormente, em 20 de dezembro de 1938, por meio da Lei Estadual nº 448, o município passou a se chamar simplesmente Jaguaribe. A evolução administrativa do município incluiu a criação e anexação de diversos distritos, entre eles Feiticeiro, Mapuá e Nova Floresta, contribuindo para a configuração atual do território municipal (IBGE, 2024).

Jaguaribe/CE está inserido na mesorregião do Sertão Cearense, sendo caracterizado por um clima semiárido, com chuvas irregulares e vegetação predominante de Caatinga. O

município se destaca pela presença do rio Jaguaribe, um dos principais cursos d'água do estado, o qual desempenha um papel essencial para a economia local, especialmente no setor agropecuário (Ibge, 2024). A Figura 5 apresenta a localização geográfica do lixão do município de Jaguaribe, no estado do Ceará, evidenciando sua inserção no território e sua proximidade com áreas habitadas e recursos hídricos.

Figura 5 - Mapa de Localização do lixão de Jaguaribe/CE



Fonte: Google Maps (2025)

O município de Jaguaribe, situado no centro-leste do estado do Ceará, apresenta características geoambientais marcadamente condicionadas pelo clima semiárido, pela presença predominante de rochas do embasamento cristalino, solos rasos e cobertura vegetal típica do bioma Caatinga (Veras, 2008). Essas variáveis físicas, associadas ao uso intensivo da terra ao longo de décadas, favorecem a degradação ambiental, tornando-se elementos-chave a serem considerados na elaboração de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) para a localidade.

Do ponto de vista geológico, o município está inserido em dois domínios estruturais principais: o embasamento cristalino, amplamente predominante, e a cobertura sedimentar, restrita às faixas aluvionares dos principais cursos d'água. O embasamento cristalino é

constituído por unidades do Complexo Nordestino, da Suíte Magmática e do Grupo Ceará, compreendendo litologias como migmatitos, gnaisses, quartzitos e granitos (RADAMBRASIL, 1981). Essas formações apresentam elevada resistência ao intemperismo químico, o que, combinado à aridez climática, limita o desenvolvimento dos solos. Tais restrições devem ser consideradas na fase de diagnóstico do PRAD, visto que influenciam diretamente na escolha das técnicas de estabilização superficial e revegetação.

A geomorfologia de Jaguaribe é caracterizada por quatro unidades distintas: Depressão Sertaneja, Maciços Residuais, Planalto Sertanejo e Planícies Fluviais. A Depressão Sertaneja é a forma predominante, apresentando altitudes entre 150 e 225 metros, relevo suavemente ondulado e substrato constituído por rochas cristalinas intensamente intemperizadas. Já os Maciços Residuais, localizados principalmente a leste do município, são elevações dissecadas com altitudes de até 600 metros. O Planalto Sertanejo, a sudoeste, é constituído por colinas com cristas orientadas segundo padrões estruturais, enquanto as Planícies Fluviais acompanham os cursos dos rios, com solos aluviais mais desenvolvidos (Veras, 2008). Essa compartimentação geomorfológica implica em distintos graus de susceptibilidade à erosão, o que exige planejamento específico para intervenções de recuperação, como a construção de terraços, cordões de contorno e práticas conservacionistas diferenciadas por unidade.

O clima local insere-se na categoria semiárida quente, com precipitação anual média inferior a 800 mm e evapotranspiração potencial superior a 2.000 mm, o que configura um significativo déficit hídrico. O Índice de Aridez (IA), calculado com base na razão entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, situa Jaguaribe na faixa entre 0,21 e 0,50, conforme a classificação da UNEP (1991), caracterizando-o como semiárido. Esse regime climático impõe limitações severas à produtividade dos ecossistemas e intensifica os processos de degradação, particularmente em áreas desprovidas de cobertura vegetal. Assim, no contexto de um PRAD, torna-se imprescindível adotar estratégias de captação e retenção de água, bem como priorizar práticas que evitem o revolvimento do solo e a perda de umidade, como a cobertura morta, a revegetação com espécies adaptadas e o rebaixamento do impacto hídrico superficial (Veras, 2008).

No tocante aos recursos hídricos, Jaguaribe é atravessado pelo rio homônimo, principal curso perene da região, cuja perenização resulta da presença dos açudes Orós e Castanhão, a montante e a jusante do município, respectivamente. No entanto, a maior parte da rede hidrográfica é formada por rios intermitentes, característica típica do semiárido. A escassez e a irregularidade da oferta hídrica, aliadas ao uso intensivo da terra e ao assoreamento dos cursos d'água, evidenciam a necessidade de medidas estruturais e não estruturais de conservação

hídrica, como a proteção de matas ciliares, a construção de barraginhas e a recuperação de áreas de recarga hídrica (Veras, 2008).

A análise pedológica do município feita por Veras (2008), identificou a ocorrência de Neossolos Litólicos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Luvisolos e Planossolos. Os Neossolos são rasos e muito suscetíveis à erosão; os Argissolos, embora apresentem maior profundidade, possuem baixa fertilidade natural e tendem à compactação sob manejo inadequado. Os Luvisolos, por sua vez, oferecem maior potencial agrícola, mas estão geralmente associados a áreas de relevo plano, também suscetíveis ao assoreamento. Por fim, os Planossolos apresentam má drenagem e são comumente encontrados nas planícies fluviais. Essas limitações edáficas requerem atenção especial no planejamento das ações do PRAD, que devem incluir a correção de acidez, o incremento de matéria orgânica e a proteção física do solo, especialmente em áreas declivosas ou sem cobertura vegetal.

Quanto à vegetação, Jaguaribe encontra-se integralmente inserido no domínio do bioma Caatinga, cuja cobertura original tem sofrido intensa degradação ao longo dos anos em virtude da exploração madeireira, do pastoreio extensivo e das queimadas para formação de roçados. As imagens de satélite analisadas por Veras (2008) revelam que as áreas mais rebaixadas, sobretudo nas depressões sertanejas, apresentam maior grau de degradação, enquanto os maciços residuais preservam porções significativas da vegetação original.

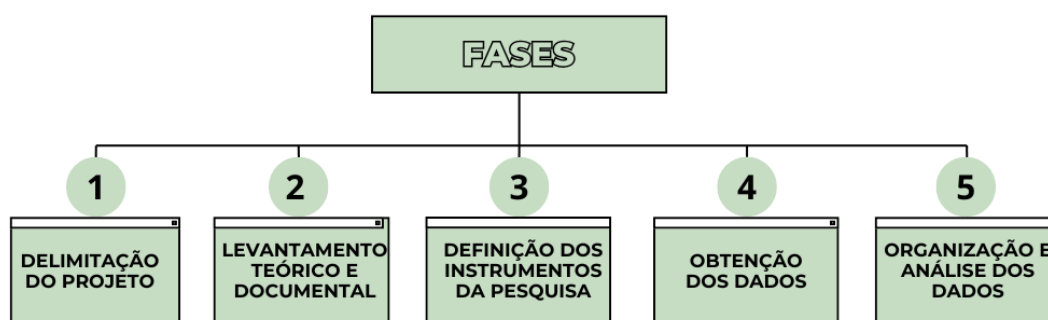
A Caatinga, embora resiliente, responde negativamente a intervenções antrópicas intensas. Por esse motivo, os projetos de revegetação no âmbito do PRAD devem priorizar o uso de espécies nativas adaptadas às condições edafoclimáticas locais, como *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta), *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira), *Spondias tuberosa* (umbu) e *Anadenanthera colubrina* (angico), favorecendo o restabelecimento dos serviços ecossistêmicos e a proteção do solo (Veras, 2008).

Em síntese, a compreensão integrada dos aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos, hídricos, pedológicos e vegetacionais do município de Jaguaribe permite não apenas diagnosticar com maior precisão as causas e os efeitos da degradação ambiental, mas também embasar tecnicamente as ações de recuperação ambiental propostas em um PRAD. Considerando a elevada fragilidade ambiental do semiárido cearense, torna-se fundamental que os processos de recuperação priorizem práticas sustentáveis, adaptadas ao contexto local e baseadas na lógica ecossistêmica e no planejamento territorial.

4.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi conduzida em cinco fases interdependentes, cada uma fundamental para viabilizar os objetivos do trabalho e construir um diagnóstico técnico e ambiental sobre a área do lixão do município de Jaguaribe - CE. A estrutura metodológica adotada se apoia nos fundamentos propostos por Gil (2002, 2017, 2019) e Marconi e Lakatos (2017), além de ser orientada por normativas e legislações ambientais como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a Instrução Normativa nº 04/2011 (IBAMA, 2011) e a Instrução Normativa nº 14/2024 (IBAMA, 2024), conforme mostrado na figura 6.

Figura 6 - Fases dos procedimentos Metodológicos



Fonte: Autoria própria (2025)

A pesquisa desenvolvida para subsidiar a elaboração de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) no município de Jaguaribe-CE foi estruturada em cinco fases interdependentes, com o objetivo de construir uma proposta técnica viável e ajustada às particularidades ambientais, sociais e institucionais do território investigado.

A primeira fase correspondeu à delimitação espacial do projeto, com foco específico na área ocupada historicamente pelo lixão do município. A escolha da localidade foi motivada pela gravidade do passivo ambiental acumulado em decorrência da disposição inadequada de resíduos sólidos, em desacordo com os princípios estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei nº 12.305/2010). A delimitação foi realizada com base na análise de imagens de satélite e uso de ferramentas de georreferenciamento, como Google Earth Pro e o *software* QGIS, além do cruzamento com dados técnicos provenientes do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e da Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Essa etapa foi essencial para a caracterização física, topográfica e geográfica da área de estudo, servindo de base para as análises posteriores.

A segunda fase consistiu em um levantamento teórico-documental abrangente, envolvendo a revisão de literatura científica e normativa sobre resíduos sólidos urbanos, impactos ambientais associados aos lixões e metodologias aplicadas à recuperação de áreas degradadas. Foram utilizadas como referências obras fundamentais da área, como os estudos de Gomide *et al.* (2018), que abordam os desafios da gestão de resíduos no contexto urbano, e os trabalhos de Leite *et al.* (2021) e da Silva *et al.* (2023), os quais discutem os impactos da disposição irregular de resíduos sobre os recursos hídricos e a saúde coletiva. No âmbito legal e técnico, consultaram-se o Manual de Recuperação de Áreas Degradadas (IBAMA, 1990), a Instrução Normativa nº 04/2011 (IBAMA, 2011), a Instrução Normativa nº 14/2024 (IBAMA, 2024), e os dados estatísticos atualizados da ABREMA (2024). Este referencial teórico e legal subsidiou a fundamentação técnico-científica do PRAD, bem como a definição das diretrizes de intervenção e mitigação dos impactos ambientais identificados.

A terceira fase concentrou-se na definição dos instrumentos de pesquisa de campo. Utilizou-se como principal abordagem metodológica a observação direta sistemática, conforme preconizado por Gil (2002), objetivando a caracterização empírica da área degradada. Foram realizadas visitas técnicas ao lixão, com registros fotográficos, croquis descritivos e anotações em diário de campo. Para análise e quantificação dos impactos ambientais, foi analisada a matriz de interação do tipo Leopold, adaptada à realidade do semiárido, conforme a metodologia proposta por Dias (2011) e aplicada por Miranda (2020). Acrescenta-se, nesta etapa, a análise de entrevistas semiestruturadas realizadas por Miranda (2022), com representantes da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, seguindo diretrizes metodológicas de Gil (2019). As entrevistas visaram levantar informações sobre a gestão municipal de resíduos, a atuação dos catadores informais, o histórico da área, a transição para o Consórcio de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Vale do Jaguaribe (CGIRS-VJ), e os entraves enfrentados na implantação de soluções ambientalmente adequadas.

A quarta fase englobou a obtenção dos dados primários e secundários, organizados em duas vertentes: empírica e institucional. A abordagem empírica foi aprofundada com o apoio das geotecnologias, que possibilitaram a geração de mapas temáticos, delimitação da área degradada e identificação de zonas críticas de acúmulo de resíduos. Paralelamente, a vertente institucional envolveu a coleta de informações junto a gestores e técnicos da administração municipal, com foco em aspectos legais, operacionais e administrativos. Também foram analisados dados socioeconômicos relativos às famílias de catadores atuantes no local, previamente levantados por Miranda (2022), o que permitiu a incorporação da dimensão social ao diagnóstico ambiental. Conforme destacam Silva *et al.* (2023) e Pacheco e Santos (2022), a

integração entre dados técnicos e sociais amplia a compreensão da complexidade das áreas degradadas e contribui para intervenções mais efetivas.

A quinta fase correspondeu à organização, sistematização e análise dos dados obtidos. As informações foram tratadas em planilhas, mapas georreferenciados, registros fotográficos e gráficos temáticos. A aplicação da matriz de Leopold permitiu uma avaliação ambiental integrada da área, identificando relações causais entre as atividades humanas (disposição inadequada de resíduos) e os componentes ambientais impactados (solo, água, ar e biota). Com base nesse diagnóstico, foi elaborado o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), em conformidade com as diretrizes das Instruções Normativas nº 04/2011 e nº 14/2024 do IBAMA, bem como dos princípios estabelecidos pela PNRS.

O PRAD resultante incluiu não apenas medidas estruturais de remediação, como isolamento da área, recobrimento dos resíduos com solo argiloso, implantação de sistema de drenagem e controle de vetores, mas também estratégias de revegetação com espécies nativas adaptadas ao semiárido, controle de pragas e monitoramento ambiental contínuo (Almeida, 2016). Um diferencial metodológico relevante foi a elaboração de uma planilha orçamentária completa, baseada em pesquisa de mercado local, estudos de caso regionalizados e orientações técnicas de Martins e Bressan (2012).

O orçamento final estimado para a execução do PRAD contempla custos com mão de obra especializada, materiais, insumos agrícolas, supervisão técnica, implantação de sistema de irrigação simples e aquisição de maquinário para recobrimento dos resíduos. Essa estimativa está em consonância com a literatura científica, que aponta variações orçamentárias significativas conforme o grau de degradação, a extensão da área impactada e as especificidades ecológicas e climáticas da região (Borges et al., 2011; Almada et al., 2016; Almeida et al., 2017).

Por fim, todas as etapas foram conduzidas em conformidade com as normas técnicas e científicas vigentes, garantindo a confiabilidade dos dados produzidos e a robustez da proposta final. O plano elaborado pretende, portanto, servir como instrumento técnico e político de referência para a recuperação ambiental da área do antigo lixão de Jaguaribe, contribuindo para a formulação de políticas públicas de gestão sustentável de resíduos sólidos no município e para o fortalecimento da justiça socioambiental em contextos urbanos do semiárido nordestino.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE JAGUARIBE-CE

A destinação dos resíduos sólidos em Jaguaribe-CE revela um retrato emblemático das fragilidades estruturais, institucionais e sociais que ainda persistem em muitos municípios do semiárido nordestino. Mesmo após mais de uma década da promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que estabelece diretrizes claras para a disposição ambientalmente adequada de resíduos e a erradicação dos lixões, a principal prática adotada em Jaguaribe continua sendo a disposição final em lixão a céu aberto, localizado a cerca de 4 km do perímetro urbano (Miranda, 2022).

O espaço utilizado não possui infraestrutura mínima exigida pela legislação: não há sistema de impermeabilização do solo, nem drenagem e coleta de chorume, cobertura periódica dos resíduos, monitoramento de gases ou controle sanitário. O município encontra-se em fase de implantação de um aterro sanitário regionalizado, por meio do Consórcio CONVALE, mas enquanto esse processo não é finalizado, a disposição irregular continua gerando sérios impactos ambientais e socioeconômicos.

Essa condição se repete em diversos municípios nordestinos, conforme observado por Santos et al. (2023), que destacam que, dos oito consórcios públicos ativos no estado do Ceará, boa parte ainda mantém lixões como forma dominante de destinação, evidenciando a dificuldade de transição institucional. Jaguaribe, mesmo sendo consorciado ao CONVALE, ainda não implantou um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), configurando-se em um quadro de degradação contínua.

Os resíduos dispostos no local foram classificados a partir de levantamento de campo (Miranda, 2022), utilizando a NBR 10.004/2004 da ABNT, que define os critérios de periculosidade ambiental. A seguir, apresenta-se o quadro detalhado com a classificação técnica, riscos potenciais e comparações com estudos similares:

Quadro 1 - Classificação e riscos potenciais dos resíduos sólidos identificados no lixão de Jaguaribe-CE

Tipo de Resíduo	Risco Ambiental e Sanitário Potencial	Classificação segundo ABNT NBR 10.004/2004
Matéria orgânica	Geração de chorume e metano; atração de vetores patogênicos	Classe II A – Não inerte
Plástico	Liberação de microplásticos e aditivos tóxicos; contaminação de solo e água	Classe II B – Inerte

Embalagens mistas	Combinação de componentes inorgânicos e orgânicos com difícil degradação	Classe II A – Não inerte
Vidro	Risco físico; descarte inadequado causa acidentes e poluição visual	Classe II B – Inerte
Tecido	Decomposição lenta; potencial de liberação de corantes e microfibras sintéticas	Classe II B – Inerte
Esponja	Derivado do petróleo; lenta degradação e alta persistência no ambiente	Classe II B – Inerte
Papelão e papel	Decomposição rápida; atrai vetores; perde potencial de reciclagem quando úmido	Classe II A – Não inerte
Ossos e carcaças	Contaminação biológica; proliferação de micro-organismos e mau cheiro	Classe II A – Não inerte
Ferro	Contaminação por oxidação em ambientes úmidos; poluição estética e risco de acidente	Classe II B – Inerte

Fonte: Adaptado de Miranda (2022); ABNT NBR10.004 (2004) e Oliveira (2014)

Embora o município de Jaguaribe-CE esteja em fase de transição para um modelo mais adequado de destinação de resíduos sólidos com a construção de um aterro sanitário, a permanência da operação do lixão municipal continua a gerar impactos ambientais e socioeconômicos significativos, cuja recorrência compromete a qualidade ambiental, a saúde coletiva e o ordenamento territorial. Esses efeitos adversos resultam da disposição inadequada dos resíduos, que ocorrem sem impermeabilização do solo, drenagem de chorume, cobertura diária dos resíduos ou controle de emissões gasosas. A seguir, são descritos de forma detalhada os principais impactos identificados:

Contaminação do solo e das águas subterrâneas pelo chorume gerado a partir da decomposição da matéria orgânica: A decomposição anaeróbica dos resíduos orgânicos dispostos diretamente sobre o solo gera a formação de chorume, um líquido escuro, de odor forte e altamente tóxico. Em lixões, esse efluente percola livremente pelo solo, promovendo a contaminação química e microbiológica do solo e dos lençóis freáticos, devido à presença de metais pesados, nitrogênio amoniacal, patógenos e carga orgânica elevada. Como não há sistema de impermeabilização no lixão de Jaguaribe, o risco de lixiviação é contínuo e difuso (Miranda, 2022). Além disso, segundo Aguiar et al. (2005), o chorume, quando não tratado, pode permanecer no ambiente por anos, acumulando-se nos poros do solo e infiltrando-se até atingir aquíferos, comprometendo a potabilidade da água subterrânea e representando risco de longo prazo à saúde humana e ao meio ambiente.

Emissão contínua de gases de efeito estufa, como o metano (CH_4), intensificando o aquecimento global: A degradação da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos sob condições anaeróbicas comuns em lixões resulta na emissão contínua de gases como dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4). O metano é um gás de efeito estufa com potencial de aquecimento global 25 vezes superior ao do CO_2 (ABNT, 2004), e sua liberação descontrolada contribui diretamente para o agravamento das mudanças climáticas. No lixão de Jaguaribe, segundo relato de campo apresentado por Miranda (2022), a presença de grandes volumes de matéria orgânica e a ausência de compactação e cobertura promovem condições ideais para a geração e dispersão desses gases, em detrimento de qualquer controle ambiental.

Proliferação de vetores de doenças, como moscas, ratos e baratas, que comprometem a saúde da população próxima: A disposição desordenada e exposta dos resíduos, especialmente os orgânicos e restos alimentares, favorece a atração e proliferação de vetores e animais sinantrópicos, como moscas, baratas, ratos e urubus. Esses vetores atuam como transmissores de doenças infectocontagiosas, incluindo leptospirose, dengue, febre tifoide, gastroenterites e parasitoses. De acordo com o diagnóstico apresentado por Miranda (2022), o local não dispõe de nenhum tipo de barreira sanitária ou isolamento, o que favorece o acesso de animais e o trânsito de vetores entre o lixão e áreas residenciais próximas, elevando o risco epidemiológico para a população vulnerável.

Risco de incêndios frequentes, já que a queima dos resíduos é uma prática comum para reduzir o volume no local: Uma prática recorrente observada no lixão de Jaguaribe é a queima de resíduos a céu aberto, utilizada como forma improvisada de redução do volume acumulado. Essa técnica, além de ser ilegal e ambientalmente nociva, representa grave risco de incêndios descontrolados, capazes de atingir vegetação nativa, propriedades próximas e até mesmo áreas urbanas periféricas. A queima libera poluentes atmosféricos tóxicos, como dioxinas, furanos e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), todos prejudiciais à saúde respiratória humana e à fauna local. Tais eventos foram observados durante as visitas técnicas e registrados em imagens no estudo de Miranda 2022, revelando a frequência e o descaso institucional com os protocolos de segurança ambiental (conforme mostrado na figura 8).

Figura 7 - Queima do lixo a céu aberto na cidade de Jaguaribe-CE



Fonte: Miranda (2022)

Poluição visual e degradação paisagística, com prejuízos à qualidade de vida da comunidade e à valorização do território: O impacto estético gerado pela presença do lixão também é significativo. A acumulação desordenada de resíduos, a ausência de barreiras físicas e o mau odor contínuo causam poluição visual severa e degradação paisagística, prejudicando a percepção ambiental dos moradores e visitantes. Essa condição contribui para a desvalorização do entorno, inviabilizando futuros usos sustentáveis do solo e interferindo negativamente em planos de desenvolvimento urbano e rural. Conforme apontado por Miranda (2022), o lixão encontra-se em uma área de influência rural e afeta não apenas o meio físico, mas também a identidade ambiental e o bem-estar coletivo da comunidade do entorno.

Exposição direta de catadores informais a materiais perigosos, sem qualquer proteção ou reconhecimento formal: Por fim, a situação de vulnerabilidade social dos catadores que atuam no lixão é um dos aspectos mais críticos. Aproximadamente 14 famílias dependem da catação informal como principal fonte de renda, mas trabalham sem equipamentos de proteção individual (EPIs), assistência técnica, capacitação ou integração em cooperativas, conforme descrito por Miranda (2022) (figura 9).

Figura 8 - Catadores no lixão a céu aberto na cidade de Jaguaribe-CE



Fonte: Miranda (2022)

A exposição contínua a resíduos orgânicos em decomposição, materiais cortantes, restos de animais e produtos químicos representa risco físico, químico e biológico elevado, violando direitos sociais fundamentais e agravando ciclos de pobreza e exclusão. A ausência de políticas públicas voltadas à formalização e ao apoio desses trabalhadores acentua o caráter injusto e insalubre do modelo de gestão atualmente vigente.

Ademais, o município ainda não conta com um sistema formal de coleta seletiva ou reciclagem estruturada, o que acentua o desperdício de recursos reutilizáveis e perpetua a marginalização socioeconômica de famílias que dependem da catação no lixão.

A permanência desse cenário se agrava diante da inércia na implantação efetiva do PRAD, instrumento técnico obrigatório para a recuperação ambiental de áreas degradadas por disposição inadequada de resíduos. Um PRAD bem estruturado poderia representar o ponto de inflexão na trajetória ambiental do município, ao prever ações como: contenção dos resíduos dispostos, drenagem e tratamento de chorume, controle de emissões gasosas, condicionamento do solo, reconstituição da vegetação e monitoramento ambiental.

Dessa forma, enquanto o aterro sanitário ainda não é operacionalizado e o PRAD permanece em elaboração, os impactos negativos persistem e se agravam diariamente, comprometendo não apenas o meio ambiente, mas também a saúde pública e os direitos sociais básicos das populações afetadas.

A permanência dessa dinâmica indica não apenas ineficiência administrativa, mas violações reiteradas aos direitos humanos, ao trabalho digno e ao meio ambiente equilibrado, previstos no artigo 225 da Constituição Federal. O retrato capturado pelas imagens (Figuras 8

e 9) transcende o mero registro visual, funcionando como testemunho empírico de um modelo excludente, insustentável e socialmente injusto.

Mesmo com a adesão ao CONVALE, Jaguaribe permanece dependente do lixão e distante da efetivação de um sistema de gestão integrada. Santos et al. (2023) demonstram que, embora os consórcios públicos sejam instrumentos importantes de regionalização e economia de escala, ainda enfrentam entraves estruturais como falta de PMGIRS, ausência de cobrança pelos serviços e limitada articulação institucional. No caso cearense, em 2019, oito consórcios públicos ativos envolviam mais de 100 municípios, mas a maioria ainda operava com lixões ou aterros controlados, conforme levantamento do SINIR citado por Santos et al. (2023).

Para reverter esse quadro, é urgente que o município conclua a implantação do aterro sanitário, elabore e execute o PRAD do lixão existente, estabeleça coleta seletiva com inclusão social dos catadores e promova educação ambiental permanente nas comunidades. Como pontua Viana (2021), a adoção da lógica da economia circular em substituição ao modelo linear de “extrair, consumir, descartar” só se concretiza quando há vontade política, investimento público e participação popular.

5.2. CARACTERIZAÇÃO DO LIXÃO DE JAGUARIBE-CE

O lixão a céu aberto localizado no município de Jaguaribe-CE configura-se como o principal destino dos resíduos sólidos urbanos gerados na cidade. Situado a cerca de 4 km da zona urbana, o local apresenta condições visivelmente precárias, sem qualquer infraestrutura que possibilite o manejo ambientalmente adequado dos resíduos, como impermeabilização do solo, drenagem de líquidos percolados (chorume), cobertura dos resíduos ou controle de emissão de gases. A cena retratada por meio de imagens do espaço evidencia um acúmulo desordenado de materiais descartados, frequentemente submetidos à queima, o que intensifica os riscos à saúde pública e ao meio ambiente (Miranda, 2022), conforme ilustrado na **figura 7**.

Figura 9 - Lixão a céu aberto, Jaguaribe - CE



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

A caracterização do lixão a céu aberto localizado no município de Jaguaribe-CE foi realizada no ano de 2022, por meio da coleta de amostras de resíduos sólidos urbanos. Para isso, utilizou-se um gabarito de madeira com área de 1 m², no qual foram posicionados aleatoriamente sobre os depósitos de resíduos distribuídos ao longo do lixão.

A caracterização do lixão a céu aberto localizado no município de Jaguaribe-CE foi O levantamento foi conduzido no ano de 2022 e consistiu na coleta de amostras de resíduos sólidos urbanos, utilizando-se um gabarito de madeira com área de 1 m², posicionado de forma aleatória sobre os depósitos de resíduos ao longo do lixão.

As amostras coletadas foram então segregadas, identificadas e classificadas conforme os critérios técnicos estabelecidos pela norma ABNT NBR 10.004/2004, que trata da classificação dos resíduos quanto à sua periculosidade (classe I – perigosos, classe II A – não inertes, e classe II B – inertes). Os resultados obtidos revelaram uma predominância significativa de resíduos plásticos, presentes em 100% das amostras analisadas. Em seguida, verificou-se a forte presença de matéria orgânica (90%), embalagens diversas (70%), tecidos (60%), vidro (40%), esponjas (30%), ferro, ossos e papelão (20%) e, em menor proporção, papel (10%).

Este levantamento empírico serviu como base para a análise desenvolvida na presente pesquisa, fornecendo subsídios fundamentais para a compreensão da tipologia dos resíduos dispostos no local e permitindo a articulação com estudos comparativos e avaliações críticas sobre os impactos ambientais, sanitários e sociais decorrentes desse modelo de destinação.

Essa composição é indicativa de um padrão de consumo urbano fortemente baseado em produtos industrializados e embalagens descartáveis. Situação semelhante foi identificada por Nascimento et al. (2021), que ao analisar a gestão de resíduos nas microrregiões da Paraíba e Ceará, destacaram a elevada proporção de materiais plásticos e a ausência de triagem dos resíduos como elementos críticos no manejo municipal, revelando uma falha sistêmica no ciclo de gestão integrada preconizado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei nº 12.305/2010).

Além do impacto visual e estético, a elevada presença de matéria orgânica em conjunto com materiais recicláveis indica a inexistência de qualquer prática efetiva de coleta seletiva e educação ambiental. De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2020), aproximadamente 50% dos resíduos sólidos urbanos no Brasil são compostos por matéria orgânica, sendo que a disposição conjunta com materiais inorgânicos compromete tanto a viabilidade da reciclagem quanto a compostagem, potencializando os impactos ambientais.

A ausência de segregação prévia acarreta ainda a geração de chorume líquido escuro e de alta carga poluente cuja percolação no solo compromete não apenas a estrutura física e química do mesmo, mas também representa uma ameaça concreta aos lençóis freáticos. Essa dinâmica foi evidenciada nos estudos de Timbó (2025), que ao analisar o lixão de Crateús-CE, encontrou elevados índices de contaminação nos parâmetros de DBO, DQO, nitrato, enxofre e metais pesados, como chumbo. Esses contaminantes estavam concentrados nos pontos amostrais localizados dentro da área de disposição, em comparação com níveis bem mais baixos fora da área do lixão, evidenciando o efeito direto da disposição inadequada dos resíduos sobre a qualidade do solo e da água subterrânea.

Tais achados dialogam com o que preconiza a Resolução CONAMA nº 396/2008, que estabelece limites máximos para poluentes em águas subterrâneas e reforça a proibição da disposição in natura de resíduos sobre o solo. Portanto, a manutenção do lixão de Jaguaribe representa uma violação direta não apenas da PNRS, mas também de normativas ambientais de caráter federal.

Outro aspecto crítico observado foi a presença de carcaças de animais e restos de origem animal em decomposição. A disposição desses resíduos sem nenhum tipo de tratamento sanitário potencializa a emissão de gases como metano (CH_4) e sulfeto de hidrogênio (H_2S), ambos com elevada toxicidade e odor desagradável. Essa prática agrava os impactos sanitários, além de atrair vetores como ratos, moscas, baratas e urubus, ampliando os riscos de disseminação de doenças infectocontagiosas entre os catadores e comunidades próximas. Timbó (2025) também documenta situações similares no lixão de Crateús, demonstrando que

a irregularidade no tratamento de resíduos orgânicos e de origem animal é uma constante em contextos urbanos do semiárido nordestino.

A vulnerabilidade social se evidencia ainda mais diante do cenário de extrema precariedade no qual cerca de 14 famílias atuam como catadores informais no lixão de Jaguaribe. Sem vínculos com cooperativas, sem fornecimento de equipamentos de proteção individual (EPI) e sem qualquer tipo de assistência técnica ou social por parte do poder público, esses trabalhadores estão expostos diariamente a riscos químicos, físicos e biológicos. Nascimento et al. (2021) alertam que tal situação é recorrente em municípios do Nordeste, onde a informalidade na atividade de coleta e triagem é acompanhada da invisibilidade social e institucional desses sujeitos, que deveriam ser reconhecidos como agentes estratégicos da logística reversa e da economia circular.

Apesar de o município de Jaguaribe estar formalmente inserido no Consórcio Público de Manejo de Resíduos Sólidos do Vale do Jaguaribe (CONVALE), pouco se avançou em termos práticos. Conforme aponta a literatura, a adesão aos consórcios regionais tem sido uma tentativa de viabilizar a implementação da PNRS em municípios de pequeno e médio porte, que por si só não possuem estrutura técnica nem recursos financeiros suficientes (Souza, 2019). Entretanto, mesmo com o apoio consorciado, Jaguaribe mantém a prática da disposição a céu aberto, evidenciando a desconexão entre as diretrizes legais e a realidade operacional local.

De forma alarmante, dados da ABRELPE (2019) revelam que cerca de 40% dos resíduos coletados no Norte e Nordeste do Brasil ainda são destinados a lixões ou aterros controlados, o que representa mais de 29 milhões de toneladas de resíduos descartados irregularmente por ano. Esse dado contextualiza a realidade de Jaguaribe como parte de um problema estrutural de alcance regional, cuja superação demanda não apenas investimentos em infraestrutura e planejamento, mas também uma reconfiguração institucional e cultural no trato com os resíduos sólidos.

A análise do lixão de Jaguaribe, portanto, evidencia um cenário complexo e multidimensional, onde se articulam degradação ambiental, omissão institucional, descumprimento da legislação e exclusão social. A persistência desse modelo de disposição não apenas compromete a sustentabilidade local e regional, como também constitui um entrave à justiça ambiental, à dignidade humana e ao direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, garantido constitucionalmente.

Diante desse quadro, é imperativo que o município avance na elaboração de um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), conforme disposto na Lei nº 12.305/2010, promova a inclusão social dos catadores através da formação de cooperativas

com apoio técnico e institucional, e investida na remediação da área degradada, seja por meio da adoção de tecnologias como geomembranas e sistemas de contenção, conforme sugerido por Timbó (2025), seja através da implantação de aterro sanitário regionalizado com critérios técnicos e licenciamento ambiental.

A realidade do lixão a céu aberto no município de Jaguaribe-CE, evidenciada pela caracterização físico-química dos resíduos e pelo levantamento das condições operacionais do local, aponta para um quadro de profunda degradação ambiental, vulnerabilidade social e inobservância da legislação ambiental vigente. A disposição indiscriminada de resíduos, sem qualquer tipo de impermeabilização do solo, tratamento dos efluentes líquidos ou controle dos gases gerados, configura um passivo ambiental que compromete diretamente os recursos naturais locais, a saúde pública e a qualidade de vida da população do entorno. Nesse contexto, a elaboração de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) se impõe como uma medida urgente e estratégica.

Conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 420/2009 e complementado por normativas como a Resolução nº 307/2002 e a Instrução Normativa MMA nº 2/2018, o PRAD é um instrumento técnico que visa a reabilitação ambiental de áreas afetadas por atividades degradadoras, devendo conter diagnóstico, definição de metas, cronograma de ações, métodos de monitoramento e estratégias de controle de impactos. No caso de Jaguaribe, os dados levantados apontam para a contaminação potencial do solo e das águas subterrâneas por chorume, a presença de resíduos perigosos (classe I) misturados com resíduos domiciliares, e a ausência de barreiras físicas para contenção de escorrimentos e vetores. Esses elementos justificam, técnica e legalmente, a aplicação do PRAD como medida de mitigação e recuperação.

A adoção de um PRAD não apenas visa à remediação dos danos ambientais já identificados, mas também à adequação da área aos usos futuros compatíveis com sua capacidade de suporte, conforme preconiza a Lei nº 12.651/2012 (Código Florestal), no que se refere à recomposição de áreas degradadas e preservação de recursos hídricos. No caso específico do lixão de Jaguaribe, um PRAD bem estruturado deve contemplar ações como: análise detalhada de passivos ambientais (incluindo parâmetros como DBO, DQO, metais pesados e nutrientes), cobertura com material inerte, impermeabilização com geomembrana ou solo compactado, instalação de sistema de drenagem e captação de chorume, revegetação com espécies nativas adaptadas ao semiárido e monitoramento contínuo da qualidade do solo e da água.

Além dos aspectos ambientais, o PRAD em Jaguaribe deve incorporar a dimensão social, reconhecendo que a área degradada é também espaço de sobrevivência de famílias em situação de vulnerabilidade. Assim, o plano deve prever, de forma articulada ao Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), a inclusão socioprodutiva dos catadores por meio da formação de cooperativas, capacitação técnica, fornecimento de equipamentos de proteção individual (EPIs) e apoio à organização comunitária. Essa diretriz está em consonância com o artigo 36 da Lei nº 12.305/2010, que determina a promoção da inclusão dos catadores no sistema de coleta seletiva e logística reversa.

Ademais, a persistência da disposição final de resíduos a céu aberto representa uma afronta à Política Nacional de Resíduos Sólidos, bem como ao disposto na Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, que assegura a todos o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado. A remediação da área do lixão, por meio de um PRAD, não deve ser compreendida apenas como um requisito técnico, mas como uma medida de justiça ambiental e de reparação socioambiental à população diretamente afetada pela degradação.

Por fim, é necessário ressaltar que a simples desativação do lixão sem a devida recuperação da área pode implicar em agravamento dos impactos existentes, como instabilidade física do terreno, reativação de focos de contaminação e reincidência do uso irregular do espaço. Assim, o PRAD deve ser parte integrante de uma política pública mais ampla, que articule a destinação adequada dos resíduos, a recuperação das áreas impactadas e a garantia dos direitos das populações vulnerabilizadas.

Portanto, frente à gravidade da situação constatada e à multiplicidade dos impactos envolvidos, torna-se incontestável a necessidade de elaboração e execução de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) no município de Jaguaribe. Tal medida representa não apenas uma obrigação legal, mas um compromisso ético com a sustentabilidade, a saúde pública e a justiça social.

5.3.Estruturação do PRAD do lixão de Jaguaribe-ce

Com base nas análises técnicas realizadas em campo e nas visitas in loco ao lixão de Jaguaribe-CE, concluiu-se que a alternativa mais adequada e exequível para a recuperação ambiental da área degradada é a adoção do método denominado “Recuperação Simples”. Segundo a classificação de Martins e Bressan (2012), essa modalidade de intervenção é recomendada para áreas com grau moderado de degradação ambiental, nas quais os objetivos principais concentram-se na estabilização física do solo, redução dos riscos de contaminação e

contenção de danos ambientais em curso, sem necessariamente promover a reconstituição integral do ecossistema original.

A escolha por esse modelo de intervenção decorre de múltiplos fatores. Em primeiro lugar, o contexto socioeconômico do município de Jaguaribe impõe restrições orçamentárias, déficits institucionais e carência de equipes técnicas especializadas, o que inviabiliza a adoção de estratégias de restauração ambiental mais complexas, como aquelas que visam à reintegração plena das funções ecológicas originais por meio de tecnologias sofisticadas ou sucessão ecológica induzida. Dessa forma, a recuperação simples se apresenta como uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente viável, alinhando-se às possibilidades reais de execução local.

Conforme pontuam Martins e Bressan (2012), o método de recuperação simples geralmente contempla um conjunto articulado de medidas, tais como: (i) regularização topográfica do terreno, de modo a eliminar depressões e prevenir o acúmulo de água de chuva; (ii) cobertura do solo com material inerte ou impermeável, especialmente argila compactada, com o intuito de reduzir infiltrações, impedir a exposição dos resíduos ao meio ambiente e minimizar a geração de chorume; (iii) implantação de sistemas de drenagem, superficiais e subterrâneos, para o escoamento das águas pluviais e a coleta controlada do chorume; e (iv) revegetação com espécies vegetais pioneiras ou nativas adaptadas, que contribuem para a estabilização do solo, controle da erosão e reintrodução da cobertura vegetal.

Nesse sentido, o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) proposto para o lixão de Jaguaribe-CE contempla a aplicação prática dessas diretrizes. Inicialmente, está prevista a modelagem e nivelamento do terreno, corrigindo desníveis e depressões para evitar o acúmulo superficial de águas pluviais e melhorar a distribuição hídrica. Em seguida, o terreno será compactado e recoberto com camada de argila ou solo argiloso local, com propriedades de baixa permeabilidade, atuando como barreira física à percolação de água e contribuindo para o confinamento do material residual.

A etapa seguinte inclui a implantação de um sistema de drenagem superficial, por meio da escavação de valetas perimetrais e drenos longitudinais, para conduzir de forma controlada as águas de chuva, evitando a formação de enxurradas e erosões. Simultaneamente, serão instalados drenos ou valas filtrantes para captar o chorume gerado internamente no corpo do antigo lixão, direcionando-o para pontos de coleta ou evapotranspiração, reduzindo sua dispersão aleatória no solo e seu potencial poluidor.

Outro eixo essencial da proposta refere-se à recomposição da cobertura vegetal, a qual será realizada por meio do plantio de gramíneas de rápido crescimento e arbustos pioneiros

adaptados às condições edáficas e climáticas da região semiárida, como capim-andropogon (*Andropogon gayanus*) e sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*). Essa vegetação atuará na proteção do solo, aumento da infiltração controlada, redução da evaporação superficial, além de criar microclimas mais favoráveis à regeneração ecológica gradual.

Adicionalmente, o PRAD propõe medidas complementares e de suporte, como: Controle físico e biológico de vetores, visando inibir a proliferação de moscas, roedores e outros organismos associados à disposição irregular de resíduos; Cercamento da área, com instalação de estacas e tela galvanizada, restringindo o acesso de pessoas e veículos não autorizados; Sinalização informativa, alertando sobre a proibição de novos descartes e os riscos à saúde pública e ao meio ambiente; Programa de monitoramento ambiental, com verificação periódica de parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo e da água subterrânea, permitindo aferir a eficácia das ações adotadas e realizar eventuais correções.

Ressalta-se que, embora o método da recuperação simples não pretenda reconstituir integralmente as funções ecológicas originais, ele representa um passo estratégico e emergencial, especialmente em realidades de baixa capacidade institucional, como a de Jaguaribe. A estratégia visa conter os processos de degradação, minimizar os riscos sanitários, restaurar parcialmente os serviços ecossistêmicos e preparar o terreno para futuras intervenções de requalificação ou uso sustentável.

Comparativamente, Timbó (2025), ao propor a recuperação do lixão de Crateús-CE, adotou diretrizes semelhantes, optando por soluções tecnicamente simples e economicamente viáveis, como contenção por geomembranas, cobertura com solo argiloso e revegetação com espécies tolerantes à salinidade. Ambas as propostas convergem na compreensão de que a remediação de lixões em municípios nordestinos deve ser orientada por critérios de viabilidade local, ancorada em parâmetros técnicos mínimos, mas sem abrir mão do compromisso com a saúde pública e a justiça ambiental.

A adoção de estratégias como a recuperação simples, aliada a medidas de educação ambiental, inclusão social de catadores, implantação de coleta seletiva e valorização da economia circular, representa uma oportunidade para os municípios romperem com o ciclo vicioso da disposição inadequada. Além disso, reafirma a necessidade de políticas públicas mais equitativas e regionalizadas, capazes de articular consórcios intermunicipais, financiamento público e participação social, como defendido por Santos et al. (2023) e Viana (2021).

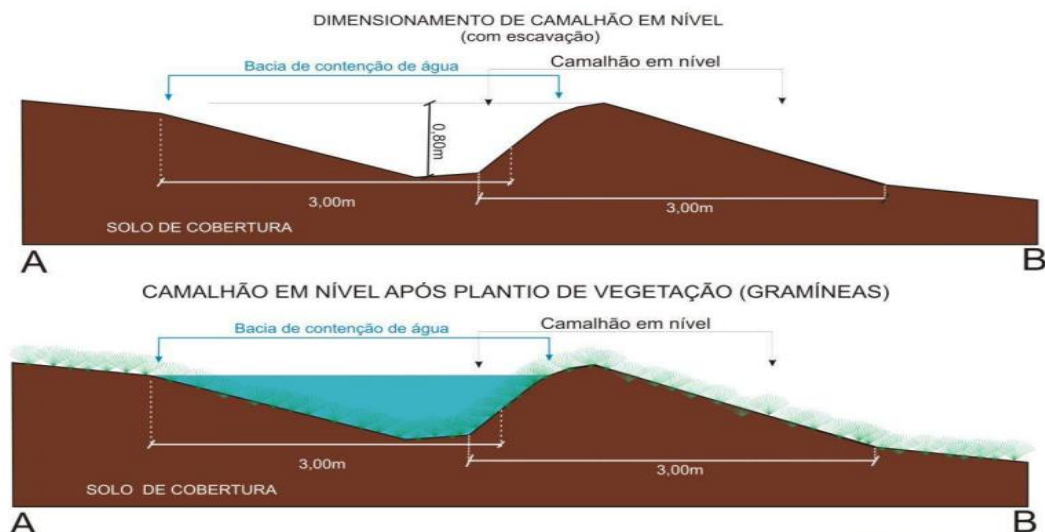
5.3.1. Limpeza da Área e Construção de Camalhões em Nível

Para iniciar o processo de recuperação, é necessário realizar primeiramente uma coleta dos resíduos soltos existentes na superfície do terreno, organizando-os de forma mais adequada. Em seguida, deve-se proceder com a cobertura completa dos depósitos de resíduos, utilizando solo para vedar o material exposto. De acordo com Cunha, Costa e Nascimento (2015), a remoção de resíduos soltos e materiais volumosos é fundamental para reduzir riscos sanitários, eliminar focos de vetores e preparar o local para receber intervenções posteriores, como o nivelamento e a cobertura do solo. Essa etapa também facilita a identificação de possíveis pontos críticos no terreno, que podem demandar atenção especial durante a regularização topográfica.

Na sequência, a área precisa ser preparada para receber as intervenções previstas no plano de recuperação. Um ponto fundamental é a definição do local que servirá como área de empréstimo, de onde será extraído o solo necessário para cobrir os depósitos reorganizados. No caso do município de Pau dos Ferros, por meio da análise de imagens de satélite, constatou-se que os terrenos próximos ao local degradado apresentam características semelhantes, sendo, portanto, os mais indicados para a retirada do material.

Para impedir que as águas das chuvas penetrem nos resíduos já aterrados, recomenda-se a construção de camalhões em nível. Segundo Martins e Bressan (2012), camalhões consistem em pequenas elevações construídas perpendicularmente à linha de maior declive, com o objetivo de reduzir a velocidade do escoamento superficial, promover a infiltração controlada da água e estabilizar o solo, diminuindo o risco de carreamento de partículas. Esses autores destacam que, em áreas planas ou com relevo suavemente ondulado, a técnica é simples, de baixo custo e pode ser executada com implementos agrícolas comuns. A Figura 10 ilustra o detalhamento dessa técnica, mostrando as dimensões dos camalhões tanto antes quanto após o plantio de gramíneas.

Figura 10 - Camalhão em nível



Fonte: Nishiyamal (2017)

Além disso, a presença dos camalhões cria microambientes que acumulam umidade, favorecendo a implantação e o crescimento de gramíneas e espécies arbustivas, que serão responsáveis por consolidar a cobertura vegetal da área. Para Pivetta, Queiroz e Zanetti (2010), essa integração entre controle físico (por meio dos camalhões) e revegetação é essencial para o sucesso da recuperação de locais degradados por resíduos sólidos, pois proporciona um ambiente mais estável e menos sujeito a processos erosivos.

5.3.2. Recobrimento do lixão com solo

O recobrimento do lixão com solo é uma das práticas mais importantes no processo de encerramento e recuperação ambiental de áreas utilizadas para disposição inadequada de resíduos sólidos. De acordo com Oliveira e Tavares (2018), a cobertura do maciço de resíduos tem como principal função isolar fisicamente o lixo do ambiente externo, reduzindo o contato com as águas pluviais, minimizando a formação de chorume e controlando a emissão de gases e odores. Essa etapa é essencial para melhorar as condições ambientais e sanitárias do local, especialmente em áreas próximas a zonas urbanas ou rurais habitadas. A figura 11 representa o sistema de recobrimento do resíduo.

Figura 11 - Recobrimento dos resíduos com camada de solo e argila.



Fonte: Lanza e Vaz (2013)

Além disso, Silva e Mazzini (2016) destacam que o recobrimento adequado cria uma barreira que dificulta o acesso de animais vetores de doenças, como roedores e aves, contribuindo significativamente para a redução de riscos à saúde pública. Esses autores ressaltam que o uso de solos com maiores teores de argila é recomendado, pois conferem maior capacidade de vedação, limitando a infiltração de água no corpo do lixão.

No mesmo sentido, Teixeira, Souza e Lima (2019) afirmam que a compactação da camada de solo sobre o maciço é indispensável, não apenas para reduzir a permeabilidade, mas também para evitar recalques diferenciais que poderiam abrir fendas e expor novamente os resíduos. Eles explicam que fissuras na cobertura comprometem a integridade do sistema, podendo permitir o ingresso de água e o surgimento de focos de contaminação.

No caso específico do lixão de Jaguaribe, a aplicação de solo argiloso extraído de áreas vizinhas é tecnicamente viável e representa uma solução de baixo custo, além de ambientalmente eficaz. Essa cobertura servirá ainda como substrato para o plantio de gramíneas e outras espécies pioneiras, etapa que contribui para a estabilização final do solo, controle da erosão e melhoria paisagística, conforme recomendado por Santos, Freira e Moura (2020) em estudos sobre revegetação de áreas degradadas por resíduos.

5.3.3. Construção de Bolsões para Retenção de Águas Pluviais

A construção de bolsões para retenção de águas pluviais se configura como uma estratégia eficaz de manejo hídrico, especialmente em áreas suscetíveis à erosão e à degradação ambiental. No presente estudo, a implantação desses dispositivos mostrou-se fundamental para o controle do escoamento superficial, contribuindo significativamente para a redução da velocidade da água e o aumento da infiltração no solo.

De acordo com Silva, Oliveira e Costa (2020), bolsões ou pequenas bacias de captação são estruturas simples, mas que exercem um papel crucial na conservação do solo e da água, ao funcionarem como micro reservatórios temporários. Esses dispositivos reduzem o transporte de sedimentos e promovem o recarregamento do lençol freático, o que é particularmente importante em regiões semiáridas ou com alta variabilidade pluviométrica.

Os resultados obtidos corroboram os apontamentos de Lima e Lopes (2018), que destacam a importância do planejamento técnico na definição do tamanho, localização e número de bolsões, a fim de maximizar sua eficiência. Observou-se que bolsões adequadamente dimensionados e construídos em pontos estratégicos do terreno foram capazes de reter volumes expressivos de água pluvial, reduzindo a ocorrência de enxurradas e contribuindo para a estabilização de taludes.

Além disso, a implementação dos bolsões potencializou benefícios ambientais indiretos, como o aumento da umidade do solo e a consequente melhoria das condições para a regeneração da vegetação nativa, conforme discutido por Santos, Menezes e Alves (2019). Tal aspecto é relevante para a manutenção da biodiversidade e para o restabelecimento dos serviços ecossistêmicos locais.

Do ponto de vista socioeconômico, vale ressaltar que a técnica apresentou baixo custo de execução e manutenção, favorecendo sua adoção por comunidades rurais. Conforme relatado por Almeida e Souza (2021), intervenções desse tipo são fundamentais para fortalecer a resiliência hídrica e garantir a segurança produtiva, sobretudo em propriedades de base familiar.

Em suma, os dados levantados indicam que a construção dos bolsões para retenção de águas pluviais não apenas cumpriu seus objetivos imediatos de controlar o escoamento e prevenir processos erosivos, como também gerou efeitos positivos para o equilíbrio ambiental e o uso sustentável do solo. Contudo, recomenda-se o monitoramento contínuo dessas estruturas, de modo a assegurar sua funcionalidade ao longo do tempo, prevenindo o assoreamento e a degradação por eventuais falhas construtivas.

Figura 12 - Sentido do escoamento da água no lixão de Jaguaribe/CE



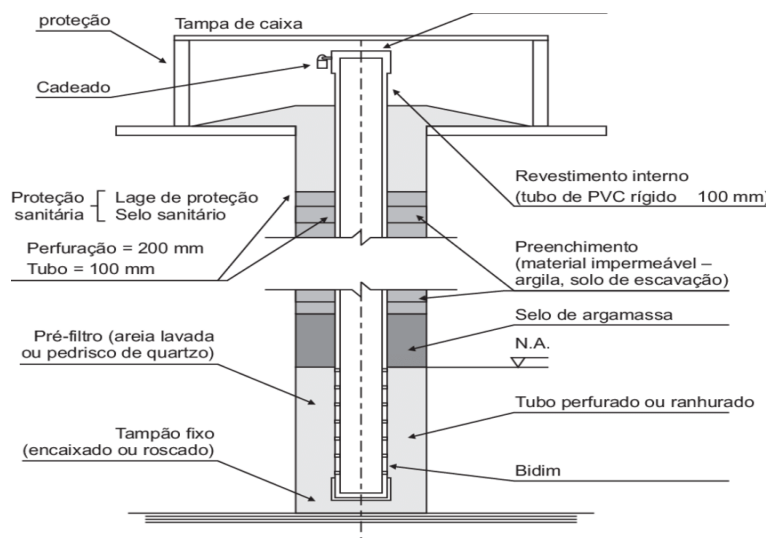
Fonte: Google Maps (2025)

Dessa forma, a adoção de bolsões para retenção de águas pluviais se consolida como uma medida tecnicamente viável, ambientalmente sustentável e socialmente acessível, especialmente em contextos vulneráveis aos efeitos da escassez hídrica e da degradação do solo. Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que, quando bem planejados e mantidos, esses dispositivos desempenham um papel multifuncional, promovendo não apenas o controle hidrológico, mas também a conservação ambiental e o fortalecimento da segurança hídrica local. Para ampliar os benefícios alcançados, recomenda-se que futuras iniciativas integrem os bolsões a ações de educação ambiental e manejo participativo, promovendo o engajamento das comunidades e garantindo a longevidade das práticas implantadas.

5.3.4. Implantação do Monitoramento da Água Subterrânea

A implantação do monitoramento da água subterrânea envolve o estabelecimento de uma rede de observação, composta por poços ou piezômetros estrategicamente distribuídos na área de estudo, de modo a permitir o acompanhamento regular dos níveis freáticos e da qualidade da água. Esse acompanhamento deve ser realizado de forma contínua e sistemática, contemplando diferentes períodos do ano para captar as variações sazonais decorrentes das oscilações climáticas e das práticas de bombeamento local.

Figura 13 - Detalhes do poço de monitoramento



Fonte: IBAM (2001).

Segundo Foster e Chilton (2003), o monitoramento periódico é fundamental para identificar tendências de recarga ou rebaixamento dos aquíferos, além de possibilitar a detecção precoce de processos de contaminação ou salinização. Dessa forma, são coletados dados como profundidade do nível d'água, condutividade elétrica, pH, temperatura e concentrações de íons ou contaminantes específicos, conforme as características da região e os potenciais riscos identificados.

A análise desses parâmetros fornece subsídios indispensáveis para a gestão sustentável do recurso hídrico subterrâneo, prevenindo a superexploração que poderia resultar em problemas como a subsidência do solo e a degradação da qualidade hídrica. Assim, recomenda-se que o monitoramento seja planejado de acordo com o tipo de aquífero, o regime de uso local e as demandas futuras, estabelecendo-se séries históricas que permitam acompanhar a evolução das condições hidrogeológicas ao longo do tempo.

5.3.5. Implantação de Cerca Viva

A implantação de cerca viva em áreas de lixão desativadas ou em processo de recuperação ambiental, como é o caso do lixão de Jaguaribe, constitui uma medida relevante tanto do ponto de vista ecológico quanto paisagístico e funcional. Essa técnica é recomendada em diversos manuais de recuperação de áreas degradadas (BRASIL, 2019; SÁNCHEZ, 2006)

e visa, sobretudo, o isolamento físico da área, a redução do acesso indevido (por pessoas ou animais), além de contribuir com o incremento da biodiversidade local.

Do ponto de vista ambiental, a cerca viva atua como uma barreira natural que auxilia no controle de processos erosivos, na filtragem superficial de sedimentos e na redução da dispersão de resíduos sólidos por ação do vento. Espécies arbustivas e arbóreas escolhidas para compor a cerca viva podem, ainda, oferecer habitat e alimento para fauna local, favorecendo o restabelecimento de interações ecológicas importantes (Rodrigues; Gandolfi, 2004).

Sob o enfoque paisagístico, a cerca viva melhora o aspecto visual da área recuperada, o que é um fator importante, considerando o histórico estigmatizado dos lixões, que muitas vezes permanecem como pontos de degradação social e ambiental mesmo após sua desativação (Silva et al., 2018).

Além disso, do ponto de vista funcional, a cerca viva atua como delimitadora do perímetro do antigo lixão, impedindo o descarte irregular futuro, o pastoreio ou o tráfego não autorizado, o que é fundamental para garantir o sucesso das etapas subsequentes do PRAD, como a revegetação interna e o monitoramento do solo e do lençol freático (Cetesb, 2014).

Para o sucesso da implantação, é fundamental a escolha de espécies adaptadas às condições edáficas locais (muitas vezes empobrecidas ou contaminadas), que apresentem rápido crescimento, boa densidade foliar e resistência a pragas e doenças. Espécies nativas têm prioridade por respeitarem o bioma local e manterem o equilíbrio ecológico, mas, em alguns casos, espécies exóticas não invasoras podem ser usadas para reforço da função de barreira (Pereira et al., 2012).

Considerando o contexto do semiárido cearense, com suas características climáticas marcadas por longos períodos de estiagem e solos frequentemente empobrecidos ou compactados, é fundamental a seleção de espécies vegetais adaptadas a essas condições, que apresentem rusticidade, rápido estabelecimento e contribuam para estabilização do solo. Para a formação da cerca viva no lixão de Jaguaribe, recomenda-se priorizar o uso de espécies nativas ou amplamente adaptadas à Caatinga, como a *Mimosa caesalpiniaefolia* (sabiá), leguminosa fixadora de nitrogênio, de rápido crescimento e capaz de enriquecer o solo; a *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta), também fixadora e bastante resistente à seca, que possui ainda a vantagem de ser espinhosa, reforçando a função de barreira; a *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira), típica da vegetação local, que favorece a recomposição da fauna; e a *Myracrodruon urundeuva* (aroeira-do-sertão), espécie de alto valor ecológico e adaptada às condições edafoclimáticas regionais.

Por fim, destaca-se que a manutenção inicial da cerca viva — com adubações, irrigação complementar e controle de plantas competidoras — é essencial nos primeiros anos, até o pleno estabelecimento, garantindo a função protetora e ornamental pretendida no PRAD.

5.3.6. Implantação da Cobertura Vegetal

Após a realização dos procedimentos preliminares necessários para a adequação física e sanitária da área, inicia-se a etapa de implantação da cobertura vegetal, fundamental no processo de recuperação ambiental de áreas anteriormente utilizadas como lixões. Para o adequado planejamento do reflorestamento, recomenda-se inicialmente a realização de um levantamento florístico do entorno, de modo a catalogar as espécies nativas ou adaptadas já estabelecidas na paisagem local, o que facilita o planejamento da composição florística a ser utilizada e aumenta o potencial de integração ecológica (Rodrigues; Gandolfi, 2007).

A implantação de uma cobertura vegetal definitiva sobre a superfície do antigo lixão é essencial para a proteção ambiental e a mitigação de impactos residuais. Dentre as funções destacam-se a contenção de processos erosivos, que contribuem para a estabilidade do solo e evitam a exposição e a migração de materiais potencialmente contaminantes, além da redução de locais propícios para proliferação de vetores sinantrópicos, como moscas, baratas, cães errantes, aves oportunistas e roedores (Cetesb, 2014; Schulz et al., 2019).

Para assegurar o sucesso do revegetação, o estabelecimento inicial de um estrato arbustivo denso e vigoroso é altamente recomendado, pois fornece sombreamento parcial ao solo, incrementa a matéria orgânica e cria condições microambientais favoráveis à introdução ou regeneração de espécies arbóreas de maior porte (Jordan; Peters, 2008). Esse estrato arbustivo também atua como facilitador do processo sucessional, servindo de atração para fauna dispersora de sementes, que por sua vez incrementa a diversidade e acelera a reconstituição do ecossistema local.

A seleção das espécies vegetais deve considerar características como porte, sistema radicular e capacidade de adaptação a solos com altos teores de matéria orgânica e baixa estabilidade físico-química, frequentemente encontrados em antigos depósitos de resíduos sólidos (Batista et al., 2022). Estudos apontam que espécies pioneiras como *Ricinus communis* (mamona), *Nicotiana glauca* (charuteira) e *Jatropha gossypifolia* (pinhão roxo) apresentam bom desempenho inicial em áreas degradadas por resíduos, por serem tolerantes a solos alterados e por promoverem sombreamento e cobertura rápida do solo (Faustino; Silva; Lima, 2020).

Dessa forma, recomenda-se que, após análise específica do local e definição das metas de recuperação, sejam priorizadas espécies herbáceas e rasteiras para cobertura inicial dos taludes e depósitos superficiais de resíduos, associadas a vegetações arbustivas nativas e adaptadas, que demandam baixa manutenção e podem estabelecer-se mesmo em condições edáficas adversas. O médio e longo prazo, espera-se que tais ações proporcionem substrato e condições para a evolução da sucessão natural, contribuindo para o equilíbrio ecológico da área e sua reintegração ao ambiente local.

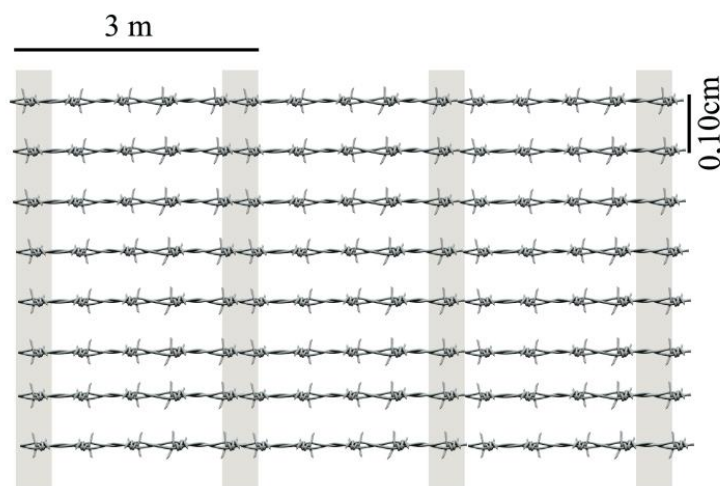
5.3.7. Cercamento e Identificação da Área

O cercamento e a devida sinalização da área constituem etapas fundamentais no processo de recuperação ambiental de locais anteriormente utilizados como lixões ou áreas de disposição irregular de resíduos sólidos. Essa ação é preconizada por manuais técnicos e normas ambientais como medida preventiva indispensável para garantir o isolamento do local, protegendo a área em processo de recuperação contra acessos indevidos, novos descartes clandestinos e atividades que possam comprometer a estabilidade física e o avanço das medidas de restauração (Cetesb, 2014; Ibama, 2011).

De acordo com orientações do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2011), o cercamento do perímetro deve ser dimensionado e executado de forma a respeitar as características topográficas do terreno, utilizando materiais duráveis e adaptados às condições climáticas regionais, garantindo a segurança e a integridade da área isolada. Em regiões semiáridas, como Jaguaribe, é recomendável empregar cercas de arame galvanizado com estacas de madeira resistente ou concreto, respeitando altura mínima que dificulte o trânsito de animais de médio e grande porte e impeça o acesso de pessoas não autorizadas.

A área do antigo lixão de Jaguaribe/CE deverá ser cercada com arame farpado (Figura 14), adotando-se espaçamento de 10 em 10 centímetros entre os fios. Para a execução do cercamento, recomenda-se a instalação de quatro fios de arame farpado, devidamente tensionados e fixados em mourões de concreto espaçados a cada 3 metros, garantindo a estabilidade e a durabilidade do cercado, bem como a adequada restrição do acesso à área em processo de recuperação ambiental.

Figura 14 - Esquema do cercamento com arame farpado previsto para o antigo lixão de Jaguaribe/CE.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Além do cercamento físico, é imprescindível a identificação visual clara da área recuperada, por meio da instalação de placas indicativas e educativas em pontos estratégicos do perímetro. Essas placas devem conter informações sobre o caráter protegido do local, as penalidades legais em caso de descarte irregular ou depredação, e podem incluir também mensagens educativas voltadas à conscientização ambiental da comunidade. Conforme orienta o Manual de Recuperação de Áreas Degradadas do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2019), a sinalização contribui não apenas para o controle direto do uso indevido, mas para a construção de uma percepção positiva da área pela população, reforçando o papel social do projeto de recuperação.

Sob o ponto de vista funcional, o cercamento também atua como componente complementar às demais ações do PRAD, como a implantação da cobertura vegetal e da cerca viva, conferindo proteção adicional à regeneração do solo e da vegetação. Silva et al. (2021) destacam que o isolamento físico durante os primeiros anos de execução do plano é crucial para o sucesso das etapas subsequentes, pois evita o pisoteio, a compactação do solo e a remoção não autorizada de mudas ou material vegetal implantado.

Portanto, o cercamento e a identificação adequada da área são medidas de caráter prioritário no PRAD, devendo ser implementadas antes ou simultaneamente às demais ações de recuperação, garantido a integridade do espaço, a segurança sanitária e o avanço efetivo do processo de recomposição ecológica e paisagística do antigo lixão.

5.3.8. Monitoramento da Área

Para garantir que o processo de recuperação ambiental do antigo lixão de Jaguaribe/CE ocorra conforme o previsto no plano, deverão ser implementadas medidas sistemáticas de monitoramento e manutenção. Entre as ações necessárias, destacam-se: a manutenção periódica do cercamento e do cinturão verde, assegurando a restrição do acesso de pessoas não autorizadas e animais (Silva et al., 2017); o acompanhamento do desenvolvimento da cobertura vegetal implantada (Matos & Lopes, 2015); a verificação bimestral quanto à presença de formigas cortadeiras e outras pragas nas áreas de plantio e na cerca viva, adotando-se o controle adequado sempre que necessário (Oliveira & Souza, 2019); o monitoramento de eventuais quedas, mortalidade ou falhas de plantio, providenciando-se o replantio ou a substituição imediata das mudas comprometidas (Pereira et al., 2020).

Complementarmente, deverá ser realizada a análise semestral da qualidade da água subterrânea e dos percolados por meio dos piezômetros instalados, bem como o monitoramento das condições físico-químicas do solo, garantindo o acompanhamento efetivo dos indicadores ambientais da área em recuperação (Cetesb, 2014; Andrade & Santos, 2021). Essas práticas são fundamentais para assegurar a efetividade do processo de recuperação e prevenir possíveis retrocessos ambientais, conforme recomendam diretrizes técnicas para áreas degradadas por disposição inadequada de resíduos sólidos.

5.4. Custos para execução do PRAD do lixão de Jaguaribe-CE

Os Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) demandam custos tanto na fase de implantação quanto nas etapas posteriores de monitoramento e manutenção. Diversos estudos destacam a variação desses custos conforme o grau de degradação ambiental, a área afetada e as especificidades do território.

No caso do município de Jaguaribe/CE, os custos estimados foram calculados com base na metodologia de recuperação simples, conforme proposto por Martins e Bressan (2012), priorizando intervenções técnicas voltadas para o aterramento dos resíduos, recomposição da cobertura vegetal e contenção dos impactos ambientais recorrentes.

A estimativa foi elaborada a partir de pesquisa de mercado local, associada à literatura técnica e à experiência de projetos similares em municípios nordestinos com características ambientais semelhantes (Timbó, 2025).

Foram considerados custos referentes à aquisição de materiais para cercamento e sinalização da área, controle de pragas, fertilização do solo, aquisição de mudas e insumos para

plantio, bem como os gastos com mão de obra especializada e elaboração dos relatórios técnicos obrigatórios. A Tabela 1 apresenta a discriminação detalhada das atividades e seus respectivos custos.

Tabela 1 - Estimativas dos custos da fase de planejamento do PRAD – Jaguaribe/CE

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)
Cercamento	Arame - Rolo	500 m	30	350,00	10.500,00
	Mourão	Und	700	40,00	28.000,00
	Grampos	Kg	10	25,00	250,00
	Mão de Obra	Diária	15	200,00	3.000,00
Subtotal Cercamento					41.750,00
Sinalização	Placa 30x50	Und	1	400,00	400,00
	Estacas	Und	2	50,00	100,00
	Mão de Obra	Diária	1	100,00	100,00
Subtotal Sinalização					600,00
Manejo de pragas (pré-plantio) ??????	Iscas granuladas	500g	6	13,99	83,94
	Mão de obra	Diária	2	140,00	280,00
Subtotal Manejo de pragas					363,94
Prevenção de incêndios	Roçadas	Diária	4	140,00	560,00
Subtotal Prevenção de incêndios					560,00
Insumos, preparo e plantio	Superfosfato simples	Pacote (50 kg)	10	100,00	1.000,00
	Hidrogel	Pacote (1 kg)	10	100,00	1.000,00
	Adubo orgânico	Pacote (20 kg)	200	30,00	6.000,00
	Tutores	Und	4000	1,50	6.000,00
	Mudas	Und	4000	7,00	14.000,00
	Coroamento e Roçado	Diária	20	100,00	2.000,00
	Abertura de covas	Diária	40	100,00	4.000,00
	Plantio de mudas	Diária	40	100,00	4.000,00
Subtotal Insumos e plantio					38.000,00
Supervisão Técnica	Responsável Técnico	Hora	180	70,00	12.600,00
	Profissional Habilitado	Hora	20	150,00	3.000,00
	Relatório do plantio	Und	1	1.000,00	1.000,00
Subtotal Supervisão Técnica					16.600,00
TOTAL GERAL					97.873,94

Fonte: Adaptado de Silva (2021)

Além das ações previstas para o isolamento da área, cobertura do solo e revegetação, a efetividade do processo de recuperação ecológica da área degradada depende também da implantação de um sistema de irrigação simples.

Esse sistema garante o fornecimento hídrico mínimo necessário ao desenvolvimento inicial das mudas, sobretudo nas condições climáticas semiáridas de Jaguaribe-CE, onde a irregularidade das chuvas pode comprometer o sucesso da revegetação.

A proposta baseia-se em uma estrutura de irrigação por gotejamento, com baixo custo, fácil manutenção e elevada eficiência no uso da água. Apresenta-se a estimativa dos custos para aquisição e instalação dos componentes do sistema na Tabela 2:

Tabela 2 - Estimativa de custo para a implantação de um sistema de irrigação simples em Jaguaribe/CE

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)
Materiais	Tubos de PVC (6 m)	Und	100	15,00	1.500,00
	Válvulas de controle	Und	10	25,00	250,00
	Emissores gotejadores (4L/h)	Und	200	0,80	160,00
	Conectores e adaptadores	Und	50	1,00	50,00
	Filtro de água	Und	2	150,00	300,00
Subtotal Materiais					2.260,00
Instalação	Mão de Obra	Diária	1	1.000,00	1.000,00
Subtotal Instalação					1.000,00
Equipamentos	Bomba de água	Und	1	800,00	800,00
	Reservatório (1.000 L)	Und	1	500,00	500,00
Subtotal Equipamentos					1.300,00
TOTAL GERAL					4.560,00

Fonte: Autoria Própria(2025)

Dentre as etapas mais relevantes da recuperação simples de áreas degradadas, destaca-se o recobrimento dos resíduos com solo argiloso, etapa fundamental para minimizar a infiltração de água, reduzir a emissão de gases e viabilizar a revegetação posterior.

Para a execução dessa atividade, torna-se indispensável o uso de maquinário pesado, como caçambas e retroescavadeiras, além da contratação de mão de obra qualificada para operação dos equipamentos. A seguir, apresenta-se a estimativa de custos dessa fase, com base em pesquisa de mercado local e experiências similares em municípios do semiárido nordestino conforme mostrado na tabela 3.

Tabela 3 - Estimativa de custos para o maquinário e mão de obra para o recobrimento dos resíduos em Jaguaribe/CE

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)
Máquinas	Veículo tipo caçamba	Diária	10	200,00	2.000,00
	Veículo tipo retroescavadeira	Diária	10	350,00	3.500,00
Subtotal Máquinas					5.500,00
Mão de Obra	Motorista	Diária	10	140,00	1.400,00
	Operador de máquina	Diária	10	140,00	1.400,00
Subtotal Mão de Obra					2.800,00
TOTAL GERAL					8.300,00

Fonte: Autoria (2025)

Diante da soma das etapas técnicas propostas para a recuperação da área degradada do lixão de Jaguaribe-CE, apresenta-se, a seguir, o quadro consolidado de investimentos necessários à execução do PRAD.

Os valores refletem estimativas realistas obtidas por meio de pesquisa de mercado, consultas técnicas e experiências similares aplicadas a contextos do Semiárido nordestino, com ênfase em soluções de baixo custo, mas tecnicamente eficazes conforme ilustrado na tabela 4.

Tabela 4 - Total dos custos do PRAD em Jaguaribe/CE

ATIVIDADE	SUBTOTAL (R\$)
Fase de planejamento	97.873,94
Manutenção e monitoramento do PRAD	26.069,70*
Implantação de um sistema de irrigação simples	4.560,00
Maquinário e mão de obra para recobrimento dos resíduos	8.300,00
TOTAL GERAL	136.803,64

Fonte: Autoria (2025)

A elaboração orçamentária de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) constitui uma etapa crítica no processo de planejamento ambiental, uma vez que a subestimação ou omissão de itens essenciais pode comprometer significativamente a efetividade e a sustentabilidade da recuperação proposta. No caso do PRAD desenvolvido para o lixão de Jaguaribe-CE, o custo total estimado foi de R\$ 136.803,64, distribuído entre as fases de planejamento, implantação de infraestrutura (como cercamento, sinalização e sistema de irrigação), aquisição de insumos, supervisão técnica e recuperação mecânica da área por meio do recobrimento com solo.

Ao se analisar esse valor à luz da literatura, é possível perceber que ele se encontra dentro da faixa esperada para projetos de recuperação em áreas semiáridas com médio grau de degradação e uso prolongado como local de disposição final de resíduos. De acordo com

Almada et al. (2016), a execução de um PRAD em uma área de 1 hectare no município de Anápolis/GO apresentou custo estimado de R\$ 6.396,00. No entanto, o estudo em questão não incluiu itens fundamentais como elaboração de relatórios técnicos, cercamento, sinalização e mão de obra qualificada, fatores estes plenamente considerados na proposta elaborada para Jaguaribe, o que explica a discrepância de valores.

Já Borges et al. (2011), ao desenvolverem um PRAD para a recuperação da Área de Preservação Permanente (APP) do Córrego Vaca Brava, em Goiânia/GO, observaram que houve subestimação significativa dos custos com aquisição de mudas e, especialmente, com a contratação de mão de obra para plantio e manutenção, o que prejudicou o cronograma de execução do plano. A proposta para Jaguaribe, ao contrário, apresentou estimativas detalhadas com base em pesquisa de mercado local, contemplando inclusive a manutenção do sistema de irrigação e os custos com mão de obra para todas as etapas do plantio e manejo inicial da vegetação, totalizando R\$ 38.000,00 somente para essa fase.

Em relação aos custos com recuperação mecânica, Martins e Bressan (2012) defendem o modelo de recuperação simples como alternativa técnica viável para áreas de lixão em pequenos e médios municípios nordestinos, desde que acompanhada de estratégias complementares de revegetação e contenção. Essa abordagem foi a base para a proposta de Jaguaribe, que incluiu a utilização de maquinário pesado (caçambas e retroescavadeiras) para recobrimento dos resíduos com solo argiloso, ao custo de R\$ 8.300,00. Esse valor é coerente com os achados de Almeida et al. (2017), que apontaram a intensificação dos custos de recuperação em função do nível de degradação e da necessidade de uso de equipamentos de grande porte, especialmente em áreas onde há presença de chorume e resíduos perigosos.

A implantação de um sistema de irrigação simples, com valor estimado em R\$ 4.560,00, representa outro diferencial importante do PRAD de Jaguaribe. Essa medida é estratégica em função do regime pluviométrico irregular da região semiárida, onde a escassez hídrica pode comprometer a fase inicial de desenvolvimento das mudas. A proposta considera um sistema por gotejamento, de baixo custo e alta eficiência, conforme indicado por Timbó (2025) em estudos realizados em áreas degradadas do interior do Ceará, onde o sucesso das ações de revegetação esteve fortemente associado à disponibilidade hídrica no primeiro ano após o plantio.

Outro ponto positivo é a inclusão de custos com supervisão técnica especializada, que totalizam R\$ 16.600,00, valor que contempla o acompanhamento por profissional habilitado, elaboração de relatórios e controle da execução das etapas do plano. Tal cuidado responde diretamente às críticas de diversos autores (como Borges et al., 2011) que alertam para a falha

recorrente de omissão de custos com assistência técnica nos projetos, o que compromete o monitoramento e a adaptabilidade das ações implementadas.

Por fim, o custo adicional de R\$ 26.069,70, referente à manutenção e ao monitoramento do PRAD, reforça o compromisso da proposta com a efetividade a longo prazo da recuperação. Esse valor inclui atividades periódicas de inspeção, replantio de mudas não sobreviventes, controle de pragas, limpeza e manutenção do sistema de irrigação e elaboração de relatórios técnicos anuais. Tal previsibilidade é fundamental para o cumprimento das metas estabelecidas e para garantir que os indicadores de recuperação sejam efetivamente alcançados, conforme as diretrizes da Instrução Normativa MMA nº 2/2018.

Dessa forma, os custos estimados para o PRAD de Jaguaribe-CE se mostram compatíveis com a complexidade ambiental e social da área degradada, contemplando ações estruturantes e realistas para a recuperação do local. Em comparação com outras propostas já documentadas na literatura, o orçamento elaborado se destaca pelo nível de detalhamento, abrangência técnica e alinhamento com as diretrizes normativas nacionais, revelando-se um instrumento consistente para orientar a execução de ações de recuperação ambiental de forma eficaz, socialmente justa e ambientalmente segura.

6. CONCLUSÃO

A elaboração do Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) para o antigo lixão do município de Jaguaribe, no estado do Ceará, representa um passo fundamental na busca por soluções sustentáveis frente aos passivos ambientais gerados pela destinação inadequada de resíduos sólidos urbanos.

O trabalho desenvolvido permitiu diagnosticar de forma detalhada as condições ambientais da área degradada, caracterizando os impactos sobre o solo, vegetação, recursos hídricos e qualidade de vida da população do entorno.

A metodologia adotada seguiu os preceitos da recuperação simples, considerada a mais viável técnica e economicamente diante da realidade socioeconômica e da gravidade do passivo ambiental local. A proposta contemplou intervenções específicas, como o recobrimento dos resíduos com solo, o isolamento da área por cercamento e sinalização, o plantio de espécies nativas adaptadas ao Semiárido e a instalação de um sistema de irrigação simples, garantindo a sobrevivência das mudas durante a fase inicial da recomposição vegetal.

Além disso, foram estimados de forma criteriosa os custos para cada etapa do processo, abrangendo desde a fase de planejamento até o uso de maquinário e mão de obra para a execução das atividades.

O custo total do PRAD foi estimado em R\$ 136.803,64, valor que reflete a combinação entre soluções de baixo custo e ações ambientalmente eficazes, fundamentadas em estudos técnicos, experiências similares e pesquisa de mercado local. Esse valor inclui a implantação, o sistema de irrigação, o recobrimento dos resíduos e a previsão de monitoramento e manutenção da área.

A realização deste trabalho reforça a importância da gestão ambiental municipal proativa e da aplicação dos instrumentos legais e técnicos previstos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).

Ao propor uma alternativa viável e estruturada para a recuperação do lixão de Jaguaribe, este estudo oferece uma ferramenta prática para gestores públicos e técnicos ambientais, contribuindo para a mitigação de danos ambientais acumulados e a promoção de justiça socioambiental.

Por fim, espera-se que os resultados aqui obtidos sirvam de base para a efetiva implementação do PRAD, bem como inspirem outras iniciativas semelhantes em contextos análogos, reforçando o compromisso com a sustentabilidade e com a melhoria da qualidade ambiental nos territórios do Semiárido brasileiro.

REFERÊNCIAS

- ABCON SINDCON. **Doenças relacionadas à falta de saneamento básico causaram 17,2% dos óbitos em internações do Ceará em 2023**. 2023. Disponível em: <https://abconsindcon.com.br/doencas-relacionadas-a-falta-de-saneamento-basico-causaram-172-dos-obitos-em-internacoes-do-ceara-em-2023/>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. ABRELPE **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2019.
- AGUIAR, Alexandre de Oliveira et al. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Manole, 2005.
- ALMADA, E. F. et al. Estimativa de custos em PRAD de APP urbana. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 53-65, 2016.
- ALMEIDA, J. R. (Org.). **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. Ilhéus: Editus; Itabuna: UESC, 2016.
- ALMEIDA, J. R. et al. Elaboração de PRAD em área de lixão desativado: estudo de caso em Planaltina/DF. **Ciência & Ambiente**, v. 45, p. 45-60, 2017.
- ALMEIDA, V. H.; SOUZA, G. A. Estratégias de convivência com o semiárido e segurança hídrica. **Cadernos do Semiárido**, 2021.
- ANDRADE, M. A., & SANTOS, R. F. (2021). Monitoramento ambiental de áreas degradadas: práticas e indicadores. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, 10(1), 54–71.
- AQUINO, F. R. de; OLIVEIRA, M. R. R. de; GOMES, L. N. de S. Contaminação ambiental causada por lixões: uma revisão sistemática da literatura científica. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 57, p. 1-21, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/gsa/article/view/13782>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- BATISTA, R. N. et al. Recuperação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos: estratégias e indicadores. **Ambiente & Sociedade**, v.25, p.1-21, 2022.
- BETIO, A. R.; MOREIRA DOS SANTOS, S. F. Avaliação da contaminação das águas subterrâneas em área do antigo lixão de Rolândia – PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 563-573, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234997>. Acesso em: 22 jul. 2025.

BORGES, M. F. et al. Proposta de recuperação de APP em Goiânia/GO. **Revista Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 121-135, 2011.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Instrução Normativa n. 04, de 13 de abril de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos para elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Recuperação de Área Degradada – PRAD. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 71, p. 70-72, 14 abr. 2011. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=118064>. Acesso em: 16 mar. 2025.

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 148, p. 3, 3 ago. 2010.

BRASIL. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos.html>. Acesso em: 19 mar. 2025.

BRASIL. Leis e Decretos. **Lei Federal n. 12.305, de 02 de maio de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União*, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manual para Recuperação de Áreas Degradadas**. Brasília: MMA, 2019.

CEARÁ. **Lei nº 1.532, de 12 de agosto de 1918**. Eleva à categoria de cidade a vila de Jaguaribe-Mirim. Disponível em: <https://sapl.al.ce.gov.br/>. Acesso em: 9 abr. 2025.

CEARÁ. **Lei nº 448, de 20 de dezembro de 1938**. Altera a denominação do município de Jaguaribe-Mirim para Jaguaribe. Disponível em: <https://sapl.al.ce.gov.br/>. Acesso em: 9 abr. 2025.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo: CETESB, 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO **Orientação para elaboração de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas em aterros e lixões desativados**. São Paulo: CETESB, 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO **Orientação para elaboração de PRAD em áreas contaminadas**. São Paulo: CETESB, 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO . **Referencial teórico sobre dioxinas e furanos em processos industriais**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2024. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/>. Acesso em: 10 abr. 2025.

CONSÓRCIO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO VALE DO JAGUARIBE (CGIRS-VJ). **Consórcio Público de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <https://cgirsvj.ce.gov.br/>. Acesso em: 16 mar. 2025.

CORREIA, Rodrigo Stuart – **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado**. Manual para revegetação. 2007.

CUNHA, J. M.; COSTA, L. M.; NASCIMENTO, R. P. Recuperação de áreas degradadas por disposição inadequada de resíduos sólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 45-56, 2015.

SILVA, J. et al. Gestão de resíduos sólidos e seu impacto na qualidade de vida. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 1, n. 8, p. 1-15, 2023. Disponível em: <https://www.revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/download/1533/397>. Acesso em: 10 abr. 2025.

DIAS, Genebaldo. **Educação ambiental: princípios e práticas**. 11. ed. São Paulo: Gaia, 2011.

FAUSTINO, A. C.; DA SILVA, R. B.; LIMA, K. M. Espécies pioneiras na revegetação de áreas impactadas por resíduos sólidos. **Revista Verde**, v.15, n.3, p.444-449, 2020.

FERRAZ, L. A.; TORRES, D. P. **Resíduos sólidos e saúde ambiental**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2023. **Florestal Brasileiro**, 6., 1991, São Paulo. Anais... São Paulo: SBS, 1990. p. 113-

FOSTER, S.; CHILTON, J. Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, 2003.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6º ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2019.

GOMIDE, Cássio Ribeiro et al. Educação Ambiental: histórico, panorama atual e perspectivas futuras em instituições de ensino. **Educação Ambiental em Ação**, v. 17, n. 66, 2018. Disponível em: <https://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=3499>. Acesso em: 16 mar. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. IBAMA. Instrução Normativa n.º 14, de 1º de julho de 2024. **Estabelece procedimentos para elaboração, apresentação, execução e monitoramento de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Área Alterada (PRAD)**. Brasília: IBAMA, 2024. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?legislacao=139412&view=legislacao>. Acesso em: 11 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/ManualdeRecuperacaodeareasDegradadaspelaMineracao.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2025

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. IBAMA. **Instrução Normativa nº 14, de 1º de julho de 2024**. Estabelece procedimentos para elaboração, apresentação, execução e monitoramento de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Área Alterada (PRAD). Brasília: IBAMA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/2024/ibama-publica-in-no14-2024-que-orienta-sobre-o-projeto-de-recuperacao-de-area-degradada-ou-area-alterada-prad>. Acesso em: 12 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. IBAMA. **Diretrizes para o planejamento e execução de recuperação de áreas degradadas**. Brasília: IBAMA, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo demográfico e informações territoriais**. Brasília: IBGE, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Jaguaribe – CE**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/jaguaribe.html>. Acesso em: 9 abr. 2025.

JESUS, C. D. de. Avaliação ambiental de área de disposição irregular de resíduos sólidos urbanos desativada no estado do Rio de Janeiro. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 5, p. 915-924, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020189687>. Acesso em: 22 jul. 2025.

JORDAN, C. F.; PETERS, R. L. Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research. **Cambridge: Cambridge University Press**, 2008.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A.; **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2017.

LEITE, N. M. G. et al. A influência da disposição final dos resíduos sólidos nos recursos hídricos: uma revisão sistemática. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 12997-13006, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/24270>. Acesso em: 16 mar. 2025.

LIMA, R. S.; LOPES, A. F. Eficiência de bacias de captação para retenção de águas pluviais. **Engenharia Agrícola**, 2018. 118. v.1.

MAIA, A. L. **Proposta de Plano de Recuperação de Áreas Degradadas para o Lixão de Pau dos Ferros/RN**. 2024. Trabalho de conclusão de Curso (Engenharia civil). Universidade Federal Rural do Semiárido. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/7f890b1a-6168-4f9b-bf2e-bb6e8aa6809c/content>

MARCIA, Neves Veras. **Características geoambientais do município de Jaguaribe – CE e suas implicações nos processos de degradação ambiental**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2008.

MARIZ, E. M. **Impactos socioambientais potenciais de um depósito de resíduos sólidos a céu aberto no município de Timbaúba dos Batistas-RN**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MARTINS, M. C.; BRESSAN, D. L. Métodos de recuperação de áreas degradadas. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 312-320, 2012.

MARTINS, S. V.; BRESSAN, D. A. **Recuperação de áreas degradadas: ações em ecossistemas tropicais**. Viçosa: Editora UFV, 2012.

MARTINS, S. V.; BRESSAN, D. A. **Recuperação de áreas degradadas: ações em ecossistemas tropicais**. Viçosa: Editora UFV, 2012.

MATOS, A. C.; LOPES, L. M. **Recuperação de áreas degradadas: técnicas e experiências**. Brasília: Embrapa, 2015.

MIRANDA, I. F. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU): estudo de caso do município de Jaguaribe - CE**. 2022. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/914850f6-f436-441b-86cf-0a19f41236ca>. Acesso em: 2 jul. 2025.

NASCIMENTO, Fâmela Aloma Alves; PINTO FILHO, Jorge Luís de Oliveira. Impactos ambientais da destinação final dos resíduos sólidos em municípios do Semiárido. **Socioeconomia do Meio Ambiente e Política Ambiental: novos olhares, olhares plurais**, p. 37, 2025.

NASCIMENTO, N. V. do et al. A gestão de resíduos sólidos no Nordeste urbano. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, e217101119431, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19431>.

OLIVEIRA, J. M.; SOUZA, D. F. Manejo integrado de pragas em áreas reflorestadas: o caso das formigas cortadeiras. **Revista Floresta**, 49(3), 521–530, 2019.

OLIVEIRA, J. S. de. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos: uma proposta de plano integrado**. Recife: UFPE, 2014

OLIVEIRA, L. M.; TAVARES, A. R. Encerramento e recuperação de áreas degradadas por lixões. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 775-783, 2018.

OLIVEIRA, Maria Aparecida Bezerra. **Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos no município de Caraúbas-RN**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – UFERSA.

PACHECO, C. S. G. R; DOS SANTOS, R. P. **Impactos Ambientais dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma análise a partir da ecoeficiência e da sustentabilidade**. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Clecia-Simone-Pacheco/publication/358842958_IMPACTOS_AMBIENTAIS_DOS_RESIDUOS_SOLIDOS_URBANOS_UMA_ANALISE_A_PARTIR_DA_ECOEFICIENCIA_E_DA_SUSTENTABILIDADE/links/62215faf3c53d31ba4a51eae/IMPACTOS-AMBIENTAIS-DOS-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-UMA-ANALISE-A-PARTIR-DA-ECOEFICIENCIA-E-DA-SUSTENTABILIDADE.pdf. Acesso em: 19 mar. 2025.

PEREIRA, G. N. et al. Uso de espécies vegetais em projetos de recuperação ambiental. **Revista Árvore**, v.36, n.4, p.695-704, 2012.

PEREIRA, R. S., LIMA, H. C.; Andrade, T. V. (2020). Efetividade do replantio na recuperação de áreas degradadas por resíduos sólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, 24(2), 115–124.

PIVETTA, R. C.; QUEIROZ, D. M.; ZANETTI, S. Sistemas de drenagem de chorume em aterros sanitários e lixões controlados. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 23-30, 2010.

PROJETO RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais. Folha SD.24 Fortaleza; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: DNPM, 1981.

RIOS, R. L. C.; RABELO, F. G. Identificação de fontes pontuais e difusas de poluição por resíduos sólidos urbanos em sub-bacias hidrográficas do semiárido baiano. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 60, p. 1-15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820210745>. Acesso em: 22 jul. 2025.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Principios ecológicos del proceso de restauración de bosques. **Bogotá: CIPAV**, 2007.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Restauración de Bosques en Brasil. **Bogotá: CIPAV**, 2004.

SALVADOR, F. L. R. Análise das etapas de um plano de recuperação de área degradada (PRAD) aplicada para um antigo lixão no município de Garopaba (SC). 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/126177>. Acesso em: 22 jul. 2025.

SÁNCHEZ, L. E. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, Amanda Pereira dos. et al. Descarte irregular: impactos ambientais e culturais. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Serviços Jurídicos). Etec Prof. Dr. José Dagnoni, Santa Bárbara d'Oeste, 2024.

SANTOS, D. R.; MENEZES, A. P.; ALVES, E. J. **Serviços ecossistêmicos e restauração de áreas degradadas**. Sustentare, 2019.

SANTOS, E. J.; FREITAS, H. A.; MOURA, R. S. Revegetação de áreas impactadas pela disposição de resíduos sólidos urbanos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 2, p. 189-196, 2020.

SANTOS, L. H. et al. Recuperação ambiental de lixões no interior do Ceará: proposta técnica e custo-efetividade. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 16, n. 1, p. 221–230, 2021.

SCHULZ, H. E. et al. Revegetação e controle de vetores em áreas degradadas por resíduos sólidos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.24, n.2, p.267-274, 2019.

SILVA, A. C. S. et al. Importância do isolamento físico em projetos de restauração ecológica de áreas degradadas. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.26, n.1, p.99-106, 2021.

SILVA, A. F. et al. Avaliação dos impactos no solo da área de disposição final de resíduos sólidos urbanos em Tucuruí, Pará. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, v. 16, n. 2, p. 123-134, 2023. Disponível em: <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/86138>. Acesso em: 10 abr. 2025.

SILVA, E. F. et al. Encerramento e recuperação de lixões: aspectos técnicos e socioambientais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n.3, p.439-448, 2018.

SILVA, G. P.; MAZZINI, A. T. Técnicas de cobertura final para áreas degradadas por disposição inadequada de resíduos. **Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, p. 456-467, 2016.

SILVA, J. A.; OLIVEIRA, F. R.; COSTA, M. T. Técnicas conservacionistas para manejo de água e solo. **Revista Agroambiental**, 2020.

Silva, M. F., Rocha, E. C., & Almeida, T. A. (2017). Segurança e cercamento de áreas de lixões desativados: um estudo de caso. *Revista Meio Ambiente em Foco*, 3(1), 30–42.

SIQUEIRA, A. S. et al. Elaboração de plano de recuperação de área degradada (PRAD) para a área de depósito de resíduos sólidos urbanos. Rolim de Moura: Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3889>. Acesso em: 22 jul. 2025.

SOUZA, A. P.; COSTA, R. L. Técnicas de revegetação em áreas degradadas do semiárido: estudo de caso em lixões desativados do sertão nordestino. *Revista Brasileira de Recursos Naturais*, v. 7, n. 2, p. 44–55, 2017.

SOUZA, D. A. de. **Gestão integrada de resíduos sólidos em municípios cearenses: estudo de caso do consórcio do Centro Sul**. Crato: URCA, 2019.

TEIXEIRA, A. F.; SOUZA, C. R.; LIMA, D. V. Cobertura de lixões e estabilidade do solo: implicações para o controle ambiental. **Revista Engenharia Ambiental e Sanitária**, v. 24, n. 1, p. 93-101, 2019.

TIMBÓ, A. D. Proposta de recuperação ambiental do lixão de Crateús-CE. **Revista GeoNordeste**, v. 5, n. 1, p. 115-132, 2025.

TIMBÓ, S. M. M. **Análise dos contaminantes no solo do lixão de Crateús: impactos e propostas de recuperação.** Crateús: UFC, 2025. Trabalho de Conclusão de Curso.

TROYACK, C.; STUERMER, S. L. Contaminação ambiental por BTEX e PAHs em área de disposição de resíduos sólidos urbanos. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 3, p. 581-590, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522022190159>. Acesso em: 22 jul. 2025.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. **Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification.** Nairobi: UNEP, 1991.

VIANA, F. L. E. Economia circular e gestão de resíduos sólidos: perspectivas para o Brasil e o Nordeste. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 52, n. 1, p. 9–25, 2021.