

**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Goiás

Bacharelado em Sistemas de Informação

Julyana Mira Medeiros

GreenEye: Mapeamento dos Locais de Descarte Indevido de Lixo por Meio de um SIG

Luziânia

2026



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Julyana Mira Medeiros

Matrícula: 20221080080140

Título do Trabalho: GreenEye: Mapeamento dos Locais de Descarte Indevido de Lixo por meio de um SIG

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

_____, Luziânia - GO, 24 / 08 / 26.
Local Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Bacharelado em Sistemas de Informação

Julyana Mira Medeiros

GreenEye: Mapeamento dos Locais de Descarte Indevido de Lixo por Meio de um SIG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Luziânia, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Dr. Ulisses Rodrigues Afonseca

Coorientador: Me. Audir da Costa Oliveira Filho

Luziânia

2026

M488g Medeiros, Julyana Mira

GreenEye: mapeamento dos locais de descarte indevido de lixo por meio de um SIG / Julyana Mira Medeiros. - Luziânia: IFG, 2026.
99 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rodrigues Afonseca.
Coorientador: Prof. Me. Audir da Costa Oliveira Filho.
TCC (Graduação - Bacharelado em Sistemas de Informação). Instituto Federal de Goiás - IFG, Câmpus Luziânia, 2026.

1. Computação. 2. Sistemas de informação geográfica. 3. Eliminação de resíduos. I. Título. II. Afonseca, Ulisses Rodrigues, orient. III. Oliveira Filho, Audir da Costa, coorient.

CDD 004



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS LUZIÂNIA

Julyana Mira Medeiros

Greeneye:
Mapeamento dos Locais de Descarte Indevido de Lixo Por Meio de Um SIG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação do Instituto Federal de Goiás - Campus Luziânia, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovada em 08 de julho de 2026.

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rodrigues Afonseca

Co-orientador: Prof. Me. Audir da Costa Oliveira Filho

Prof. Me. Thiago Peixoto dos Reis

Prof. Dr. Lucas de Almeida Ribeiro

Documento assinado eletronicamente por:

- Audir da Costa Oliveira Filho, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/08/2026 19:22:21.
- Thiago Peixoto dos Reis, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/08/2026 17:39:33.
- Lucas de Almeida Ribeiro, Lucas de Almeida Ribeiro - Docente - Ufg (01567601000143), em 21/08/2026 17:32:43.
- Ulisses Rodrigues Afonseca, COORDENADOR(A) DE CURSO - SUB-CHEFIA - LUZ-CCSBSI, em 21/08/2026 17:29:44.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/08/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 812475
Código de Autenticação: db28979863



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua São Bartolomeu, S/N, S/N, Vila Esperança, LUZIÂNIA / GO, CEP 72.811-580
(61) 3142-1247 (ramal: 247)

RESUMO

Medeiros, J. M.. **GreenEye: Mapeamento dos Locais de Descarte Indevido de Lixo por Meio de um SIG**. Luziânia, 2026. 100p. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

O descarte inadequado de resíduos sólidos urbanos representa um desafio crônico para a gestão ambiental, resultando em poluição e riscos à saúde pública. A ausência de ferramentas sistematizadas para o monitoramento contínuo desses focos de lixo dificulta a tomada de decisões estratégicas e a alocação eficiente de recursos. Este trabalho apresenta a proposta e implementação do “GreenEye”, um Sistema de Informação Geográfica para Web (*WebSIG*) colaborativo, cujo objetivo é mapear e analisar os locais de descarte irregular. A metodologia adotada envolveu um levantamento bibliográfico sobre gestão de resíduos e geotecnologias, e a definição de uma arquitetura de software baseada no modelo cliente-servidor, utilizando Node.js com Express para a API REST, React com Leaflet para a interface do mapa, e PostgreSQL com a extensão PostGIS para o armazenamento e análise dos dados geográficos. Como resultado esperado, a plataforma permite o engajamento do cidadão através de relatório georreferenciado e fornece aos gestores públicos uma ferramenta para análise espacial, como a identificação de áreas críticas (*hotspots*), otimizando as ações de fiscalização e limpeza. Este projeto contribui com uma solução tecnológica aplicável para a modernização da gestão de resíduos sólidos, promovendo a transparência e a colaboração entre poder público e sociedade.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica, Descarte Indevido de Lixo, Geoprocessamento, Gestão Ambiental, Mapeamento Colaborativo.

ABSTRACT

The improper disposal of urban solid waste represents a chronic challenge for environmental management, resulting in pollution and risks to public health. The lack of systematized tools for the continuous monitoring of these waste hotspots hinders strategic decision-making and the efficient allocation of resources. This work presents the proposal and implementation of "GreenEye," a collaborative Web Geographic Information System (WebGIS) whose objective is to map and analyze locations of irregular waste disposal. The methodology adopted involved a literature review on waste management and geotechnologies, and the definition of a software architecture based on the client-server model, using Node.js with Express for the REST API, React with Leaflet for the map interface, and PostgreSQL with the PostGIS extension for the storage and analysis of geographic data. As an expected result, the platform allows citizen engagement through georeferenced reports and provides public managers with a tool for spatial analysis, such as the identification of critical areas (hotspots), optimizing inspection and cleaning actions. This project contributes an applicable technological solution for the modernization of solid waste management, promoting transparency and collaboration between public authorities and society.

Keywords: Geographic Information System, Improper Waste Disposal, Geoprocessing, Environmental Management, Collaborative Mapping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do ciclo PDCA e suas respectivas etapas de controle de processos (SILVA, 2015).	20
Figura 2 – Identificação para Resíduos (BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), 2018).	26
Figura 3 – Exemplo de disposição inadequada e acúmulo de resíduos sólidos urbanos a céu aberto (PINTO; SILVA, 2017).	26
Figura 4 – Diagrama do fluxo da Economia Circular (Andalucía Ecológica, 2020).	29
Figura 5 – Fluxograma da PNRS. (Afinko Polímeros, 2020).	30
Figura 6 – Exemplos de móveis externos para o reuso de pneus. (Afinko Polímeros, 2020).	33
Figura 7 – Esquema metodológico de funcionamento e camadas de engenharia de um aterro sanitário (CONDE; STACHIW; FERREIRA, 2014).	34
Figura 8 – Aterro sanitário no DF (CAMPOS, 2022).	34
Figura 9 – Lixão em Luziânia (ESTEFAN, 2021).	35
Figura 10 – Representação das linhas de latitude (paralelos) e longitude (meridianos) sobre a superfície esférica terrestre adaptado de ESRI (Environmental Systems Research Institute, 2001).	39
Figura 11 – Classificação das projeções cartográficas quanto à superfície e ao ponto de contato (JONES, 1997).	40
Figura 12 – Abstração do mundo real para os modelos de dados em SIG (Electrical e-Library, 2019).	42
Figura 13 – Representação geométrica e estruturação matemática das primitivas vetoriais.	47
Figura 14 – QR Code para acesso ao repositório do projeto <i>GreenEye</i> no GitHub (MEDEIROS, 2026).	48
Figura 15 – Diagrama do Banco de Dados. Fonte: O autor (2026).	51
Figura 16 – Tela Principal (Mapa) do Módulo Público, apresentando o mapa interativo, a legenda e os links de navegação. Fonte: O autor (2026).	54
Figura 17 – Tela Principal (Cards) do Módulo Público, apresentando as ocorrências em formato de cartões. Fonte: O autor (2026).	54
Figura 18 – Cadastro Nova Ocorrência do Módulo Público, apresentando o mapa interativo, a legenda e formulário. Fonte: O autor (2026).	55
Figura 19 – Interface de consulta do Módulo Público, apresentando o mapa interativo de pontos de coleta licenciados e a barra lateral de informações. Fonte: O autor (2026).	56

Figura 20 – Interface de consulta do Módulo Público, apresentando o mapa interativo de pontos de coleta licenciados e a barra lateral de informações. Fonte: O autor (2026).	56
Figura 21 – Seção superior da interface institucional “Sobre”, detalhando os objetivos do sistema e sua fundamentação baseada na PNRS e Economia Circular. Fonte: O autor (2026).	57
Figura 22 – Seção inferior da interface institucional “Sobre”, ilustrando esquematicamente o fluxo de funcionamento e a integração de atores no ecossistema “GreenEye”. Fonte: O autor (2026).	58
Figura 23 – Tela de Login do Módulo Administrativo (Gestor), com acesso restrito e instruções de segurança. Fonte: O autor (2026).	59
Figura 24 – Tela principal do Painel do Gestor (Dashboard), destinada à visualização de estatísticas e gerenciamento das ocorrências. Fonte: O autor (2026).	59
Figura 25 – Interface do Módulo de Tutorial do Gestor, apresentando os cartões informativos e guias de suporte ao usuário. Fonte: O autor (2026).	60
Figura 26 – Interface de cadastro do Módulo Administrativo, apresentando o formulário técnico e o mapa de georreferenciamento para o gestor. Fonte: O autor (2026).	61
Figura 27 – Interface de Gestão de Pontos de Coleta, exibindo a tabela administrativa de unidades ativas e opções de controle. O autor (2026).	62
Figura 28 – Formulário de inclusão do Painel de Gestão de Pontos de Coleta, detalhando os campos de metadados e seleção de resíduos aceitos. O autor (2026).	63
Figura 29 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Visão Geral”, destacando os cartões de KPIs operacionais e gráficos de distribuição por gravidade e instituição. Fonte: O autor (2026).	64
Figura 30 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Análise por Tempo”, exibindo o gráfico de linhas de ocorrências criadas versus resolvidas e o gráfico de barras empilhadas por status mensal. Fonte: O autor (2026).	65
Figura 31 – Seção complementar da aba de “Análise por Tempo”, apresentando o detalhamento de status mensais e o gráfico descritivo de solicitações de coleta corporativas. Fonte: O autor (2026).	65
Figura 32 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Resíduos”, exibindo os gráficos de distribuição por categoria e a relação de volume por gravidade. Fonte: O autor (2026).	66
Figura 33 – Seção complementar da aba de “Resíduos”, destacando os gráficos de taxa de resolução percentual e tempo médio de atendimento por categoria. Fonte: O autor (2026).	66

Figura 34 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Empresas”, exibindo os cartões de KPIs corporativos e os gráficos de ranking de coletas efetuadas. Fonte: O autor (2026).	67
Figura 35 – Seção complementar da aba de “Empresas”, destacando a distribuição de status das solicitações corporativas e a cobertura de categorias de resíduos homologadas. Fonte: O autor (2026).	67
Figura 36 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Fluxo”, apresentando o funil de conversão do ciclo de vida das ocorrências e as métricas de tempo médio entre transições. Fonte: O autor (2026).	68
Figura 37 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Monitoramento”, exibindo os gráficos de crescimento acumulado de ocorrências e de empresas parceiras. Fonte: O autor (2026).	68
Figura 38 – Seção complementar da aba de “Monitoramento”, apresentando os gráficos de padrão temporal por dia e hora e a tabela de concentração de focos críticos para o “heatmap”. Fonte: O autor (2026).	69
Figura 39 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Unificações”, apresentando as métricas de controle de duplicidades e o painel analítico de ocorrências repetidas por categoria. Fonte: O autor (2026).	69
Figura 40 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Pontos de Descarte”, exibindo os cartões de KPIs de cobertura regional e os gráficos de distribuição por cidade. Fonte: O autor (2026).	70
Figura 41 – Seção complementar da aba de “Pontos de Descarte”, destacando a análise quantitativa de cobertura por tipo de resíduo e a tabela analítica de unidades cadastradas. Fonte: O autor (2026).	70
Figura 42 – Interface de Histórico de Ocorrências do Módulo Administrativo, apresentando os registros cronológicos e logs de auditoria do sistema. Fonte: O autor (2026).	71
Figura 43 – Tela de Cadastro do Módulo Administrativo (Gestor). Fonte: O autor (2026).	72
Figura 44 – Tela de Cadastro do Módulo Corporativo (Empresa/ONG). Fonte: O autor (2026).	72
Figura 45 – Tela de Login do Módulo Corporativo (Empresa/ONG), com acesso restrito e instruções de segurança. Fonte: O autor (2026).	73
Figura 46 – Tela principal do Painel Corporativo (Empresa/ONG), destinada à visualização e gerenciamento das solicitações de coletas. Fonte: O autor (2026).	74
Figura 47 – Interface do Módulo de Tutorial de Empresas Parceiras, apresentando os guias visuais e instruções de suporte ao usuário corporativo. Fonte: O autor (2026).	75

Figura 48 – Interface de Histórico de Solicitações do Painel Corporativo, exibindo a tabela de controle e rastreamento de coletas logísticas. Fonte: O autor (2026).	76
Figura 49 – Distribuição por categoria de resíduo e gravidade das ocorrências, gerados pelo painel analítico do “ <i>GreenEye</i> ”. Fonte: O autor (2026).	81
Figura 50 – Distribuição por categoria de resíduo e gravidade das ocorrências, gerados pelo painel analítico do “ <i>GreenEye</i> ”. Fonte: O autor (2026).	81
Figura 51 – Mapa de calor das ocorrências de descarte irregular gerado pelo sistema “ <i>GreenEye</i> ”. Fonte: O autor (2026).	84
Figura 52 – Publicação oficial da Prefeitura de Luziânia sobre a expansão do sistema de videomonitoramento inteligente no município. Fonte: Prefeitura de Luziânia (2026).	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – KPIs de Ocorrências de Descarte Irregular — Validação Funcional (junho/2026)	79
Tabela 2 – Distribuição das Ocorrências por Categoria de Resíduo	80
Tabela 3 – Top 10 Locais com Maior Concentração de Ocorrências (via <code>ST_SnapToGrid</code>)	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária;
API	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação de Aplicações);
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente;
CPF	Cadastro de Pessoas Físicas;
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i> ;
CSV	<i>Comma-Separated Values</i> (Valores Separados por Vírgula);
GEE	Gases de Efeito Estufa;
GIST	<i>Generalized Search Tree</i> (Árvore de Busca Generalizada);
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global);
HTML	<i>HyperText Markup Language</i> ;
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> ;
IFG	Instituto Federal de Goiás;
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas);
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i> ;
JWT	<i>JSON Web Tokens</i> ;
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> (Indicador-chave de Desempenho);
MVP	<i>Minimum Viable Product</i> (Produto Mínimo Viável);
NPM	<i>Node Package Manager</i> ;
OGC	<i>Open Geospatial Consortium</i> ;
ONG	Organização Não Governamental;
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i> (Planejar-Fazer-Verificar-Agir);

PDF	<i>Portable Document Format</i> ;
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos;
RCC	Resíduos da Construção Civil;
REST	<i>Representational State Transfer</i> (Transferência de Estado Representacional);
RF	Requisitos Funcionais;
RNF	Requisitos Não Funcionais;
RSS	Resíduos de Serviços de Saúde;
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos;
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados;
SIG	Sistema de Informação Geográfica;
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas;
SPA	<i>Single Page Application</i> (Aplicação de Página Única);
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso;
UI	<i>User Interface</i> (Interface do Usuário);
UX	<i>User Experience</i> (Experiência do Usuário);
WebSIG	Sistema de Informação Geográfica para <i>Web</i> ;
WFS	<i>Web Feature Service</i> ;
WGS	<i>World Geodetic System</i> ;
WMS	<i>Web Map Service</i> ;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Problema e Hipótese	17
1.2	Objetivos	17
1.3	Justificativa	18
1.4	Metodologia	19
1.4.1	Metodologia do Trabalho	20
1.4.2	Metodologia de Desenvolvimento do Software	21
1.5	Organização do trabalho	22
2	DESCARTE, REUSO, REAPROVEITAMENTO E RECICLAGEM	24
2.1	Classificação dos Resíduos Sólidos	24
2.1.1	Quanto à Origem	24
2.1.2	Quanto à Periculosidade	25
2.2	O Problema do Descarte Inadequado	26
2.2.1	Impactos Socioeconômicos e Injustiça Ambiental	27
2.3	A Transição para a Economia Circular	28
2.3.1	A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)	29
2.3.2	O Papel da Logística Reversa	30
2.4	Pilares da Gestão Sustentável de Resíduos	31
2.4.1	Redução	31
2.4.2	Reuso	32
2.4.3	Reciclagem	32
2.4.4	Reaproveitamento	32
2.4.5	Tratamento e Disposição Final Adequada	33
2.5	Educação Ambiental e Participação Comunitária	35
2.6	Tecnologias Aplicadas à Gestão de Resíduos	36
3	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	37
3.1	Os Componentes Essenciais de um SIG	37
3.2	A Representação da Terra e as Coordenadas Geográficas	38
3.2.1	Modelando o Planeta: Do Geoide ao Elipsoide	38
3.2.2	Latitude e Longitude: O Endereço da Terra	38
3.2.3	Projeções Cartográficas	39
3.3	Modelagem de Dados Geográficos	40
3.4	Análise Espacial em SIG	42
3.4.1	Análise de Proximidade (<i>Buffer</i>)	43

3.4.2	Análise de Sobreposição (<i>Overlay</i>)	43
3.4.3	Análise de Padrões (<i>Pattern Analysis</i>)	43
3.5	Armazenamento e Representação dos Dados	44
3.5.1	Armazenamento de Dados com <i>PostGIS</i>	44
3.5.2	Representação em Mapas	44
3.6	A Evolução para a Web: <i>WebSIG</i> e Geotecnologias Acessíveis . . .	45
3.6.1	Tecnologias Fundamentais para <i>WebSIGs</i>	45
4	O SISTEMA <i>GREENEYE</i>	48
4.1	Disponibilização do Código-Fonte	48
4.2	Arquitetura da Solução	49
4.3	Modelagem do Banco de Dados	49
4.4	Requisitos do Sistema	51
4.4.1	Requisitos Funcionais (RF)	51
4.4.1.1	Módulo Público (Cidadão)	51
4.4.1.2	Módulo Administrativo (Gestor Municipal)	52
4.4.2	Requisitos Não Funcionais (RNF)	53
4.5	Resultados da Implementação e Interface do Usuário	53
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
5.1	Validação Funcional e Dados Coletados	78
5.2	Análise Espacial e Identificação de <i>Hotspots</i>	82
5.3	Avaliação do Desempenho e dos Requisitos Não Funcionais	84
5.4	Discussão	85
6	CONCLUSÕES	87
6.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	87
	REFERÊNCIAS	90
	ANEXOS	93
	ANEXO A – RELATÓRIO DE ATIVIDADES <i>GREENEYE</i>	94

1 INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras enfrentam o desafio persistente da gestão de resíduos sólidos, um problema que se intensifica com a expansão urbana desordenada e a ausência de infraestrutura adequada. O descarte indevido de lixo em vias públicas, terrenos baldios e corpos d'água tornou-se um cenário comum, comprometendo diretamente a qualidade ambiental e a saúde pública (FIGUEIREDO, 2025). Essa prática inadequada é uma das principais causas da poluição do solo e de fontes hídricas, além de contribuir para a obstrução de sistemas de drenagem, o que agrava a ocorrência de enchentes em períodos chuvosos (HORA, 2018).

A gestão municipal, muitas vezes, opera de forma reativa com altos custos de limpeza e sem dados precisos para a formulação de estratégias preventivas eficazes. A falta de ferramentas para monitorar e analisar a distribuição espacial desse problema limita a capacidade dos gestores de tomar decisões informadas e de alocar recursos de forma otimizada (PEREIRA et al., 2024).

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma ferramenta computacional capaz de capturar, armazenar, analisar e exibir dados georreferenciados, transformando dados brutos de localização em informações estratégicas. A sua evolução para a web, conhecida como *WebSIG*, democratiza esse acesso, permitindo que análises espaciais e mapas interativos sejam operados através de um navegador, como implementado neste trabalho.

Neste contexto, as geotecnologias, em especial os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), emergem como ferramentas poderosas para a modernização da gestão ambiental urbana. A aplicação de SIGs permite a visualização e análise espacial de áreas críticas, facilitando o planejamento de ações corretivas e preventivas (VETTORAZZI; FERRAZ, 1998). Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema baseado em SIG para identificar, mapear e analisar os focos de lixo, fornecendo um diagnóstico preciso e dinâmico da situação. Além da possibilidade de interagir com a sociedade e com parceiros da área privada.

A disponibilização de uma plataforma interativa e colaborativa possibilitou não apenas subsidiar o poder público com informações estratégicas, mas também engajar a comunidade no processo de fiscalização e cuidado com o ambiente urbano. Este trabalho apresenta, o desenvolvimento e a implementação do “*GreenEye*”, um Sistema de Informação Geográfica para Web (*WebSIG*) colaborativo. O objetivo geral foi desenvolver uma solução tecnológica baseada em SIG que permite mapear e analisar locais de descarte irregular de resíduos sólidos, fornecendo aos gestores públicos uma ferramenta para otimização das

ações de fiscalização e limpeza. Para a validação do sistema, a ferramenta foi utilizada para coleta e análise de dados piloto no município de Luziânia-GO, permitindo o engajamento cidadão através do registro de ocorrências georreferenciadas.

1.1 Problema e Hipótese

O problema central que esta pesquisa busca solucionar é a carência de métodos eficientes e sistematizados para o monitoramento contínuo dos locais de descarte irregular de lixo em áreas urbanas. Atualmente, a identificação desses pontos depende, majoritariamente, de fiscalizações pontuais ou de ocorrências esporádicas feitas pela população, que nem sempre são registradas de forma a permitir uma análise espacial ou temporal.

Esta abordagem fragmentada impede a compreensão da dinâmica do problema, como a identificação de áreas críticas (*hotspots*), a reincidência de descarte em locais já limpos e a correlação com fatores socioeconômicos e de infraestrutura. A ausência de uma base de dados georreferenciada e centralizada dificulta o planejamento de ações preventivas, a otimização de rotas de coleta e a avaliação da eficácia das políticas públicas implementadas.

A hipótese central deste trabalho é que é possível criar um SIG colaborativo que, ao integrar dados coletados de forma participativa pela comunidade e por agentes públicos, instituições e empresas parceiras, seja capaz de gerar um mapa dinâmico e preciso dos focos de descarte irregular. Essa colaboração amplia a capacidade de monitoramento e compartilhamento de informações, reduzindo os custos operacionais do governo municipal relacionados à fiscalização e coleta de dados. O sistema desenvolvido fornece uma ferramenta de análise espacial que facilita a identificação de padrões e áreas críticas, subsidiando a tomada de decisões estratégicas por parte dos gestores ambientais e contribuindo para a redução monitorada do descarte irregular de resíduos sólidos, conforme verificado durante a fase de validação do trabalho.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para mapear locais de descarte indevido de lixo e monitorar a evolução do descarte irregular, oferecendo uma ferramenta de suporte à decisão para a gestão ambiental urbana. Para alcançar o objetivo geral, este trabalho estabeleceu, como objetivos específicos:

1. Revisar e analisar a literatura científica sobre gestão de resíduos sólidos, geotecnologias aplicadas ao meio ambiente, plataformas de mapeamento colaborativo e sistemas de informações geográficos;

2. Definir os requisitos funcionais e não funcionais da solução proposta;
3. Projetar o software utilizando linguagens de modelagem e banco de dados geográficos;
4. Desenvolver uma aplicação *WebSIG* com interface intuitiva que permita aos usuários (gestores, cidadãos, instituições e empresas responsáveis pela coleta de resíduos) visualizar o mapa de ocorrências, submeter novas ocorrências e registrar ações de coleta e destinação dos resíduos;
5. Coletar dados iniciais de locais de descarte irregular em uma área urbana piloto, utilizando observação direta e registros fotográficos para popular a base de dados, e verificar o funcionamento das funcionalidades implementadas e o atendimento aos requisitos definidos por meio de testes em uma região piloto, coletando *feedback* para futuras melhorias;
6. Realizar as correções necessárias no software e implementar funcionalidades de visualização interativa, como mapas de calor para identificação de áreas críticas, e a capacidade de gerar relatórios sobre as ocorrências em formato PDF.

1.3 Justificativa

A relevância deste projeto reside na sua capacidade de oferecer uma solução tecnológica para um problema ambiental e social crônico nas cidades brasileiras. O descarte inadequado de resíduos gera custos elevados para os cofres públicos com limpeza emergencial e impacta negativamente a saúde pública, ao criar ambientes para a proliferação de vetores de doenças (PEREIRA et al., 2024). Além disso, a degradação ambiental causada pelo lixo desvaloriza imóveis e prejudica a qualidade de vida da população (SANTOS et al., 2022).

Atualmente, as alternativas do poder público para identificar esses locais limitam-se, em geral, a fiscalizações de rotina, que são custosas e de baixa abrangência, ou a ocorrências esporádicas da população por telefone ou ouvidoria. Esses métodos não são registrados de forma sistematizada ou georreferenciada, impedindo a análise de padrões e a gestão eficiente.

A proposta de um SIG colaborativo é inovadora por integrar a gestão pública, a participação cidadã e a atuação de empresas e instituições envolvidas na coleta, reciclagem e destinação de resíduos. A utilização de um sistema georreferenciado permite uma análise espacial detalhada, que transcende a simples localização dos problemas, possibilitando a identificação de suas causas e a formulação de estratégias de intervenção mais assertivas e eficazes (Brasil, 2010).

Ao automatizar e centralizar o registro de ocorrências, o sistema otimiza o trabalho das equipes de fiscalização e limpeza, permitindo que os recursos sejam alocados de maneira

mais inteligente. A natureza desse descarte é variada e cada tipo agrava o problema de forma distinta: o entulho (Resíduos da Construção Civil - RCC) bloqueia vias; resíduos domésticos e de restaurantes atraem vetores de doenças; e o descarte de resíduos de serviços de saúde (RSS) pode gerar contaminação biológica grave, representando um risco direto à saúde pública. Portanto, o mapeamento realizado pelo “*GreenEye*” funciona como um diagnóstico, evidenciando para a gestão pública os locais onde esses resíduos estão sendo descartados e, conseqüentemente, onde as políticas de logística reversa estão falhando.

Além de apoiar a tomada de decisão do poder público, o sistema oferece benefícios para empresas e cooperativas responsáveis pela coleta e destinação de resíduos, permitindo a identificação mais rápida de demandas, a otimização de rotas e a redução de custos operacionais. Para a administração municipal, a centralização das informações e a participação colaborativa dos diferentes atores envolvidos contribuem para a diminuição dos gastos com fiscalização, monitoramento e atendimento de ocorrências, tornando a gestão dos resíduos mais eficiente e sustentável.

Do ponto de vista social, o projeto fomenta a conscientização e o engajamento comunitário, transformando o cidadão em um agente ativo na fiscalização ambiental (SILVA; BOLLMANN, 2011). A transparência gerada pelo mapa público aumenta a pressão social por soluções e incentiva práticas mais sustentáveis.

Cientificamente, o trabalho contribui para a área de geotecnologias aplicadas à gestão urbana, demonstrando o potencial dos *WebSIGs* e da ciência cidadã para resolver problemas complexos do cotidiano das cidades, alinhando-se com os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010). Nesse cenário, o “*GreenEye*” se posiciona como uma aplicação de geotecnologia focada na dimensão da fiscalização colaborativa e da análise espacial do problema. Ele não otimiza a coleta em si, mas gera o diagnóstico georreferenciado que serve de base para que outras ações como a otimização de rotas de limpeza, a instalação de novas lixeiras ou a realização de campanhas de educação ambiental em áreas críticas possam ser planejadas de forma muito mais eficaz. Esta abordagem cria uma ponte essencial entre a definição do problema e a solução tecnológica desenvolvida.

1.4 Metodologia

Este capítulo detalha os procedimentos adotados para a realização deste trabalho. A metodologia está dividida em duas frentes principais: a metodologia do trabalho, que descreve a abordagem científica e a condução da pesquisa, e a metodologia de desenvolvimento do software, que especifica as tecnologias e os processos utilizados para a construção do sistema “*GreenEye*”.

1.4.1 Metodologia do Trabalho

Para guiar a execução deste projeto, foi adotado o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), uma ferramenta de gestão interativa focada na melhoria contínua de processos e produtos. A aplicação do ciclo neste trabalho se estrutura da seguinte forma, conforme apresentado na Figura 1:



Figura 1 – Fluxograma do ciclo PDCA e suas respectivas etapas de controle de processos (SILVA, 2015).

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas, pesquisa bibliográfica e implementação do software. Ambas são descritas abaixo no ciclo PDCA:

- **Planejar (Plan):** A primeira etapa corresponde à definição do problema de pesquisa, dos objetivos e da hipótese do trabalho. Realizou-se uma extensa revisão bibliográfica para fundamentar teoricamente o projeto. A pesquisa de referencial teórico foi conduzida em bases de dados acadêmicas como Google Scholar, Scielo e repositórios de universidades, utilizando palavras-chave como: “Sistema de Informação Geográfica”, “descarte indevido de lixo”, “gestão de resíduos sólidos”, “geoprocessamento” e “*PostGIS*”. Na segunda etapa, também foi realizado o levantamento de requisitos funcionais e não funcionais do sistema proposto.
- **Fazer (Do):** Corresponde à fase de execução do que foi planejado. Na primeira etapa, foi realizada a pesquisa bibliográfica e a elaboração do texto científico, contemplando o levantamento teórico e a definição dos requisitos da solução proposta. Na segunda etapa, ocorreu a implementação do sistema SIG “*GreenEye*”, incluindo o desenvolvimento das funcionalidades previstas, a estruturação da base de dados

geográfica e a coleta inicial de informações sobre os locais de descarte irregular, obtidas por meio de ocorrências de usuários e visitas a campo. A metodologia de desenvolvimento do sistema é detalhada na próxima subseção.

- **Verificar (Check):** Nesta etapa, os resultados obtidos foram avaliados em duas fases. Na primeira, foi realizada a revisão, correção e adequação do texto científico, verificando a conformidade com as normas acadêmicas e os objetivos propostos para o trabalho. Na segunda etapa, o sistema desenvolvido foi submetido a testes e validação em uma região piloto de Luziânia-GO, verificando o funcionamento das funcionalidades implementadas, o atendimento aos requisitos não funcionais definidos e a consistência dos dados georreferenciados. Os resultados obtidos foram comparados com os objetivos traçados para verificar a eficácia da solução em auxiliar no mapeamento e monitoramento do descarte irregular.
- **Agir (Act):** Com base nos resultados obtidos na etapa de verificação, foram realizadas ações corretivas e de aprimoramento em duas fases. Na primeira, efetuaram-se correções, revisões e adequações no texto científico, visando melhorar sua qualidade, clareza e conformidade com as normas acadêmicas. Na segunda, foram implementadas correções e melhorias no sistema “*GreenEye*” a partir dos resultados dos testes e do *feedback* obtido durante a validação, aperfeiçoando suas funcionalidades, usabilidade e desempenho. Esta etapa culminou com a consolidação dos resultados finais do projeto e a conclusão do trabalho de conclusão de curso.

1.4.2 Metodologia de Desenvolvimento do Software

O sistema “*GreenEye*” foi desenvolvido seguindo o modelo de arquitetura cliente-servidor, composto por uma aplicação web (*frontend*) que se comunica com uma API REST (*backend*) responsável pelas regras de negócio e pela persistência dos dados. Toda a pilha de desenvolvimento da aplicação foi baseada na linguagem JavaScript.

- **Linguagens de Programação:** A aplicação foi desenvolvida inteiramente em **JavaScript**. No lado do servidor (*backend*), utilizou-se o ambiente de execução **Node.js**, enquanto no lado do cliente (*frontend*), o JavaScript é executado diretamente no navegador, em conjunto com **HTML** e **CSS** para a estruturação e estilização das páginas.
- **SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados):** Foi utilizado o **PostgreSQL**, um sistema de gerenciamento de banco de dados objeto-relacional de código aberto. Para o suporte às informações geográficas, foi empregada a extensão **PostGIS**, que adiciona tipos de dados e funções espaciais ao **PostgreSQL**, transformando-o em um poderoso banco de dados geográfico.

- **Frameworks e Tecnologias Principais:**

- **Backend:** O desenvolvimento da API REST foi realizado com **Node.js** utilizando o *framework* **Express**. O *Express* é um *framework* minimalista e flexível que facilita a criação de rotas, o gerenciamento de requisições e respostas HTTP, e a organização da lógica do servidor. Para a segurança, foram utilizados **JSON Web Tokens (JWT)** para autenticação das sessões administrativas e a biblioteca **bcrypt** para o armazenamento seguro de senhas por meio de hash. Para o tratamento de imagens enviadas pelo usuário, a API captura o arquivo enviado pelo fluxo da requisição, convertendo-o em um *buffer* binário que é persistido diretamente no banco de dados, e o envio de e-mails transacionais (como senhas temporárias e redefinição de senha) foi implementado com a biblioteca **Nodemailer**.
- **Frontend:** A interface do usuário foi desenvolvida com a biblioteca **React**, que permite a criação de componentes de UI reutilizáveis e dinâmicos. Para a visualização dos mapas interativos, foi utilizada a biblioteca **Leaflet.js**, complementada pelo plugin **leaflet.heat** para a geração de mapas de calor. A geração de relatórios em PDF foi implementada com as bibliotecas **jsPDF** e **jspdf-autotable**.
- **Ambiente de Execução e Gerenciamento:** O **Node.js** serve como ambiente de execução para o *backend*. O **NPM (Node Package Manager)** foi utilizado como gerenciador de pacotes e dependências do projeto, tanto para o *backend* quanto para o *frontend*.

1.5 Organização do trabalho

Este trabalho está estruturado em sete capítulos, que guiam o leitor desde a contextualização do problema e a fundamentação teórica até o detalhamento da solução tecnológica desenvolvida e as conclusões obtidas. A seguir, detalha-se o conteúdo de cada capítulo.

O [Capítulo 1](#), a presente **Introdução**, estabelece o panorama completo da pesquisa. Ele apresenta o problema do descarte irregular de resíduos, a hipótese de que um SIG colaborativo pode ser uma solução eficaz, os objetivos geral e específicos do projeto, a justificativa para sua realização e a metodologia de pesquisa e de desenvolvimento de software que nortearam o trabalho.

O [Capítulo 2](#), intitulado **Descarte, Reuso, Reaproveitamento e Reciclagem**, contextualiza o problema real que motiva o projeto. O capítulo explora os múltiplos impactos ambientais, sociais e de saúde do descarte inadequado, introduz o paradigma

da Economia Circular e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) como soluções estruturantes, e detalha os pilares da gestão sustentável de resíduos.

O [Capítulo 3](#) apresenta o referencial teórico da tecnologia central do projeto, o **Sistema de Informação Geográfico**. O capítulo introduz os conceitos fundamentais de SIG, discute a modelagem de dados geográficos, explora as principais técnicas de análise espacial, e conclui com as formas de armazenamento e representação dos dados, com foco no *PostGIS* e em mapas digitais.

O [Capítulo 4](#) detalha a **Implementação do Sistema “GreenEye”**. Nesta seção, são apresentadas a arquitetura da solução em três camadas, a modelagem das tabelas do banco de dados, a lista completa de requisitos funcionais e não funcionais, e os resultados da implementação com as telas do sistema desenvolvido.

O [Capítulo 5](#) apresenta os **Resultados e Discussão**, analisando os dados coletados durante a fase de validação do sistema em Luziânia-GO, discutindo o desempenho da solução desenvolvida frente aos objetivos propostos e avaliando as contribuições e limitações identificadas.

Finalmente, o [Capítulo 6](#) apresenta as **Conclusões** do trabalho, retomando os objetivos propostos e avaliando em que medida foram alcançados, além de apontar as limitações identificadas e sugerir direções para trabalhos futuros.

2 DESCARTE, REUSO, REAPROVEITAMENTO E RECICLAGEM

A gestão de resíduos sólidos representa um dos maiores e mais complexos desafios para os centros urbanos contemporâneos. O modelo de produção e consumo herdado da Revolução Industrial, baseado em uma lógica linear de extrair, produzir, utilizar e descartar, tem se mostrado ecologicamente insustentável e socialmente problemático (BIANCHI, 2020). A consequência direta desse modelo é a geração de um volume crescente de lixo que sobrecarrega os ecossistemas, consome vastos recursos públicos e impacta diretamente a qualidade de vida da população.

Este capítulo se aprofunda nos conceitos fundamentais que norteiam a gestão de resíduos. A análise parte dos múltiplos impactos negativos causados pelo descarte inadequado, avança para a apresentação da Economia Circular como um paradigma alternativo e culmina no detalhamento das práticas sustentáveis que formam os pilares para uma gestão de resíduos moderna, alinhada com os objetivos de desenvolvimento sustentável.

2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

Para uma gestão eficaz, é fundamental compreender que o termo “lixo” abrange uma vasta gama de materiais com origens e características distintas. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em seu Art. 13, estabelece uma classificação oficial que orienta o manejo, o tratamento e a destinação de cada tipo de resíduo (Brasil, 2010). Essa classificação se divide principalmente em dois eixos: quanto à origem e quanto à periculosidade.

2.1.1 Quanto à Origem

A classificação por origem permite identificar a fonte geradora do resíduo, o que é crucial para atribuir responsabilidades e planejar a logística de coleta e tratamento. As principais categorias são (Brasil, 2010; ARANTES; PEREIRA, 2021):

- **Resíduos Domiciliares:** Originários de atividades domésticas em residências.
- **Resíduos de Limpeza Urbana:** Originários da varrição, limpeza de vias públicas e outros serviços urbanos. Juntos com os domiciliares, compõem os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

- **Resíduos de Serviços de Saúde (RSS):** Gerados em hospitais, clínicas e laboratórios, com potencial patogênico.
- **Resíduos da Construção Civil (RCC):** Comumente conhecidos como entulho, são gerados em construções, reformas e demolições.
- **Resíduos Industriais:** Gerados nos processos produtivos e instalações industriais.
- **Resíduos Agrossilvopastoris:** Gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais.

2.1.2 Quanto à Periculosidade

Esta classificação, baseada em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), avalia o risco que o resíduo oferece à saúde pública e ao meio ambiente ([MIRELLA et al., 2017](#)).

- **Classe I – Perigosos:** Apresentam riscos significativos por características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Exigem tratamento e disposição especiais. Pilhas, baterias, lâmpadas e resíduos hospitalares são exemplos comuns.
- **Classe II – Não Perigosos:** Não se enquadram como perigosos. São subdivididos em:
 - **Classe II A – Não Inertes:** Possuem propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. O principal exemplo são os resíduos orgânicos (restos de comida).
 - **Classe II B – Inertes:** Não se decompõem ou alteram ao entrar em contato com a água, mantendo-se essencialmente inalterados por um longo período. Entulhos e cacos de vidro são exemplos.

O conhecimento dessa classificação é vital, pois a identificação do tipo de resíduo em um ponto de descarte irregular permite aos gestores priorizar ações, compreendendo o nível de urgência e o risco ambiental e sanitário de cada ocorrência.

Um exemplo detalhado de classificação de periculosidade é o adotado para os Resíduos de Serviços de Saúde (RSS), regulamentado pela ANVISA e pelo CONAMA. Dada a diversidade de riscos presentes em ambientes de saúde, esses resíduos são categorizados em cinco grupos distintos, conforme ilustrado na Figura 2, o que orienta o manejo, tratamento e descarte seguro de cada tipo de material. A Figura 2 apresenta a simbologia de identificação para Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) conforme a classificação da ANVISA/CONAMA em grupos de risco.

				
GRUPO A Risco Biológico	GRUPO B Risco Químico	GRUPO C Rejeitos Radioativos	GRUPO D Lixo Comum Reciclável Possui sua classificação própria.	GRUPO E Materiais Perfurocortantes

Figura 2 – Identificação para Resíduos (BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), 2018).

W

2.2 O Problema do Descarte Inadequado

O descarte inadequado de resíduos sólidos é a disposição final de lixo em locais não licenciados ou ambientalmente preparados para recebê-lo, como terrenos baldios, margens de rios, encostas e vias públicas. Esta prática, infelizmente ainda comum em muitos municípios brasileiros, acarreta uma série de consequências negativas profundas, que podem ser categorizadas em três áreas principais. A Figura 3 apresenta a imagem de um lixão a céu aberto, evidenciando o descarte inadequado de resíduos sólidos sem qualquer tipo de controle ambiental ou de engenharia.



Figura 3 – Exemplo de disposição inadequada e acúmulo de resíduos sólidos urbanos a céu aberto (PINTO; SILVA, 2017).

A destinação incorreta de resíduos é uma das principais fontes de poluição difusa no

ambiente urbano e rural. A decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas (sem oxigênio) nos lixões gera dois subprodutos altamente danosos:

- **Chorume:** Um líquido escuro, de alta carga orgânica e inorgânica, que contém substâncias tóxicas e patogênicas. Sem a devida impermeabilização do solo, este líquido percola, contaminando o solo e podendo atingir aquíferos e lençóis freáticos, comprometendo fontes de água potável (SANTOS et al., 2015).
- **Gases de Efeito Estufa (GEE):** A decomposição gera biogás, uma mistura de gases composta principalmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). O metano é um gás de efeito estufa com um potencial de aquecimento global mais de 20 vezes superior ao do CO₂, contribuindo significativamente para as mudanças climáticas (MIRELLA et al., 2017).

Além disso, o acúmulo físico de lixo em locais inadequados obstrui sistemas de drenagem pluvial, como bueiros e canais, intensificando os riscos e os danos causados por enchentes em períodos chuvosos (SANTOS et al., 2015).

Os lixões e pontos de descarte irregular são ambientes insalubres que criam um ecossistema propício para a proliferação de vetores de doenças. Ratos, baratas, moscas e mosquitos encontram nesses locais abrigo e alimento, podendo transmitir uma vasta gama de enfermidades à população do entorno, como leptospirose, febre tifoide, cólera e dengue. Estudos já associaram diretamente a deficiência na coleta e tratamento de lixo a uma maior incidência de arboviroses (doenças causadas por vírus transmitidos por artrópodes, como o mosquito *Aedes aegypti*, transmissor da dengue, zika e chikungunya) em centros urbanos (GONDIM et al., 2009). A queima informal de lixo, prática comum nesses locais, também libera gases tóxicos na atmosfera, causando ou agravando problemas respiratórios.

2.2.1 Impactos Socioeconômicos e Injustiça Ambiental

A degradação ambiental causada pelo lixo gera consequências socioeconômicas diretas. A presença de um lixão ou de pontos de descarte viciados desvaloriza os imóveis no entorno e degrada a paisagem urbana, prejudicando o potencial turístico e comercial de uma região. Para a gestão pública, os custos associados à limpeza de locais de descarte clandestino, às intervenções emergenciais para desobstrução de bueiros e, principalmente, ao tratamento de doenças relacionadas ao saneamento inadequado, são elevados e representam um uso reativo e ineficiente dos recursos públicos (MIRELLA et al., 2017). Como exemplo, o custo para a prefeitura remover lixo de lotes baldios e pontos viciados representa um gasto contínuo que poderia ser direcionado para outras áreas.

É fundamental destacar que esses impactos não são distribuídos de forma igualitária pela sociedade. Frequentemente, os lixões e aterros são instalados em áreas periféricas,

habitadas por populações de baixa renda, que acabam arcando com a maior parte dos danos ambientais e sanitários. Esse fenômeno é conhecido como **injustiça ambiental**, onde grupos socialmente vulneráveis são desproporcionalmente expostos aos riscos e à degradação ambiental ([MIRELLA et al., 2017](#)). Em contrapartida, já existem modelos de negócio que enxergam valor nesses resíduos. Algumas empresas, por exemplo, especializam-se na coleta de Resíduos da Construção Civil (RCC) para processamento e reuso como aterro em novas obras, iniciando um ciclo positivo.

2.3 A Transição para a Economia Circular

Em contraposição ao insustentável modelo linear, o conceito de **Economia Circular** emerge como um paradigma restaurador e regenerativo, por princípio. O objetivo é redefinir o crescimento, dissociando a atividade econômica do consumo de recursos finitos e eliminando os resíduos do sistema por meio de um design superior de materiais, produtos e modelos de negócio ([BIANCHI, 2020](#)). Seus três princípios fundamentais são:

1. Preservar e aprimorar o capital natural, controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis;
2. Otimizar a produção de recursos, fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo;
3. Fomentar a eficácia do sistema, revelando e excluindo as externalidades negativas.

A Figura 4 apresenta o Diagrama do fluxo da Economia Circular. A imagem ilustra o ciclo contínuo onde os produtos, após o consumo, são reintroduzidos na cadeia produtiva por meio do reparo, reuso, coleta e reciclagem, em oposição ao modelo linear que termina no descarte.



Figura 4 – Diagrama do fluxo da Economia Circular (Andalucía Ecológica, 2020).

Iniciativas que integram a economia circular e a tecnologia têm ganhado destaque, promovendo o reaproveitamento de materiais e transformando o que seria lixo em novos recursos produtivos. Este modelo não apenas mitiga os impactos ambientais, mas também fomenta a sustentabilidade econômica ao criar novas oportunidades de negócio nos setores de reciclagem e reaproveitamento (FOSTER; ROBERTO; IGARI, 2016).

2.3.1 A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

No Brasil, o principal marco regulatório para essa transição é a **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**, instituída pela Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010). A PNRS é um divisor de águas na gestão de resíduos do país, pois introduz instrumentos modernos e estabelece responsabilidades claras para enfrentar o problema. Seus principais objetivos incluem a proteção da saúde pública, a não geração e redução de resíduos e o estímulo à reciclagem (ARANTES; PEREIRA, 2021). Dentre seus instrumentos mais importantes, destacam-se:

- **Responsabilidade Compartilhada:** atribui a responsabilidade pela gestão do ciclo de vida dos produtos a todos os envolvidos – fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e poder público;
- **Logística Reversa:** obriga o retorno dos produtos e embalagens após o consumo para o setor empresarial, para que sejam reaproveitados ou recebam outra destinação ambientalmente adequada;

- **Fim dos Lixões:** a lei estabeleceu prazos para a erradicação de todos os lixões do país e sua substituição por aterros sanitários ambientalmente adequados.

A PNRS, portanto, fornece a base legal e conceitual para que municípios, possam modernizar sua gestão de resíduos, alinhando-se aos princípios da economia circular (ARANTES; PEREIRA, 2021). A Figura 5 apresenta o Fluxograma da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). O diagrama representa a integração entre o ciclo de vida do produto (produção, distribuição, varejo, consumo) e a hierarquia para a gestão dos resíduos gerados, incluindo o reuso, a reciclagem e as formas de tratamento e disposição final.



Figura 5 – Fluxograma da PNRS. (Afinko Polímeros, 2020).

2.3.2 O Papel da Logística Reversa

Um dos instrumentos mais inovadores e estruturantes da PNRS é a **Logística Reversa**, definida como um “instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento [...] ou outra destinação final ambientalmente adequada” (Brasil, 2010).

Na prática, a logística reversa operacionaliza o princípio da responsabilidade compartilhada ao criar um fluxo para que produtos e embalagens retornem ao fabricante ou importador após o consumo. A PNRS, em seu Art. 33, torna este sistema obrigatório para diversos tipos de produtos com alto potencial de impacto ambiental, como ([Brasil, 2010](#)):

- Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens;
- Pilhas e baterias;
- Pneus;
- Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
- Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio;
- Produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

A ineficiência ou ausência de sistemas de logística reversa eficazes é uma das principais causas do descarte inadequado desses itens específicos, que frequentemente contêm substâncias perigosas. Nesse contexto, o mapeamento georreferenciado de pontos de descarte irregular pode funcionar como uma importante ferramenta de diagnóstico territorial, evidenciando para a gestão pública os locais onde esses resíduos são descartados de forma inadequada e permitindo a identificação de possíveis falhas na cobertura das políticas de logística reversa.

2.4 Pilares da Gestão Sustentável de Resíduos

Dentro do conceito de economia circular e das diretrizes da PNRS, a gestão de resíduos se apoia em uma **ordem de prioridade**, que deve guiar todas as políticas públicas e ações individuais: **não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos** e, por último, a **disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos** ([Brasil, 2010](#)).

2.4.1 Redução

A redução é o primeiro e mais importante pilar da gestão sustentável. Consiste em evitar a geração de resíduos na origem, diminuindo o consumo de produtos desnecessários e optando por aqueles com maior durabilidade, embalagens mínimas ou que ofereçam a opção de refil. Esta prática ataca a raiz do problema, pois o resíduo que não é gerado não precisa ser transportado, tratado ou descartado. A redução está diretamente ligada à promoção de padrões sustentáveis de produção e consumo, um dos objetivos centrais da PNRS ([Brasil, 2010](#); [ARANTES; PEREIRA, 2021](#)).

2.4.2 Reuso

O reuso, ou reutilização, é o segundo passo na hierarquia. Consiste em utilizar novamente um produto ou material para a mesma finalidade para a qual foi concebido, sem a necessidade de um processo de transformação industrial (Brasil, 2010). É uma das formas mais eficientes de gestão, pois prolonga a vida útil dos itens, diminui a demanda por novas matérias-primas e economiza a energia que seria gasta no processo de reciclagem. Exemplos clássicos incluem o reabastecimento de garrafas de vidro retornáveis, a utilização de sacolas de compra duráveis ou a doação de roupas e móveis em bom estado.

2.4.3 Reciclagem

A reciclagem é o processo de transformação físico-química de materiais descartados em novos produtos ou matérias-primas (Brasil, 2010). Diferente do reuso, a reciclagem envolve o processamento industrial do resíduo (plástico, papel, metal, vidro) para que ele possa ser reintroduzido na cadeia produtiva como matéria-prima secundária. A reciclagem é fundamental para a economia circular, pois fecha o ciclo de vida dos materiais, reduz a extração de recursos naturais, economiza energia e diminui a poluição.

A participação da comunidade, por meio da separação do lixo e da coleta seletiva, é um pilar para o sucesso dos programas de reciclagem (MIRELLA et al., 2017). Socialmente, a reciclagem no Brasil está intrinsecamente ligada ao trabalho dos catadores de materiais recicláveis. Estima-se que mais de 800 mil pessoas vivam dessa atividade no país, sendo responsáveis pela coleta de mais de 90% de tudo que é reciclado, desempenhando uma função ambiental e social crucial (ARANTES; PEREIRA, 2021). A PNRS reconhece essa importância e busca integrar esses trabalhadores, incentivando a criação e o desenvolvimento de cooperativas e associações (Brasil, 2010).

No contexto local de Luziânia, existem iniciativas formais para esta integração, como a COOPERCAT (Cooperativa Nacional de Catadores de Resíduos Recicláveis) e a INGACOOOP, sediada no Jardim Ingá, que trabalham na coleta e triagem. O próprio IFG - Câmpus Luziânia promove ações de doação de materiais para cooperativas de reciclagem, reforçando o papel social e ambiental dessas organizações.

2.4.4 Reaproveitamento

Embora muitas vezes confundido com o reuso, o reaproveitamento refere-se ao uso de um produto ou material descartado para uma finalidade diferente da original. É uma forma criativa de dar um novo propósito a um objeto que seria descartado, muitas vezes associado ao conceito de “upcycling”. Um exemplo prático é a utilização de pneus velhos como balanços em parques, cadeiras e mesas como apresentado na Figura 6 a

transformação de caixotes de madeira em estantes ([FONSECA, s.d.](#)). O reaproveitamento estimula a inovação, o artesanato e reduz a quantidade de resíduos enviados para aterros.



Figura 6 – Exemplos de móveis externos para o reuso de pneus. ([Afinko Polímeros, 2020](#)).

2.4.5 Tratamento e Disposição Final Adequada

Mesmo com as práticas anteriores, ainda haverá uma parcela de resíduos que não pode ser reaproveitada ou reciclada, denominada *rejeito*. A PNRS determina que essa disposição final seja ambientalmente adequada, o que se dá por meio de **aterros sanitários**. Um aterro sanitário é uma obra de engenharia complexa, projetada para minimizar os impactos ambientais, contando com sistemas de impermeabilização do solo para evitar a contaminação por chorume, sistemas de drenagem e tratamento desse chorume, e sistemas de captação e queima controlada dos gases gerados ([Brasil, 2010](#)). A Figura 7 apresenta o esquema de operação de um aterro sanitário do tipo trincheira. A imagem detalha os componentes de engenharia, como a base com solo de baixa permeabilidade, a disposição do lixo em camadas compactadas, a cobertura diária com terra e as canaletas de drenagem

para o controle da água superficial. E na Figura 8 apresenta um aterro sanitário localizado em Brasília-DF

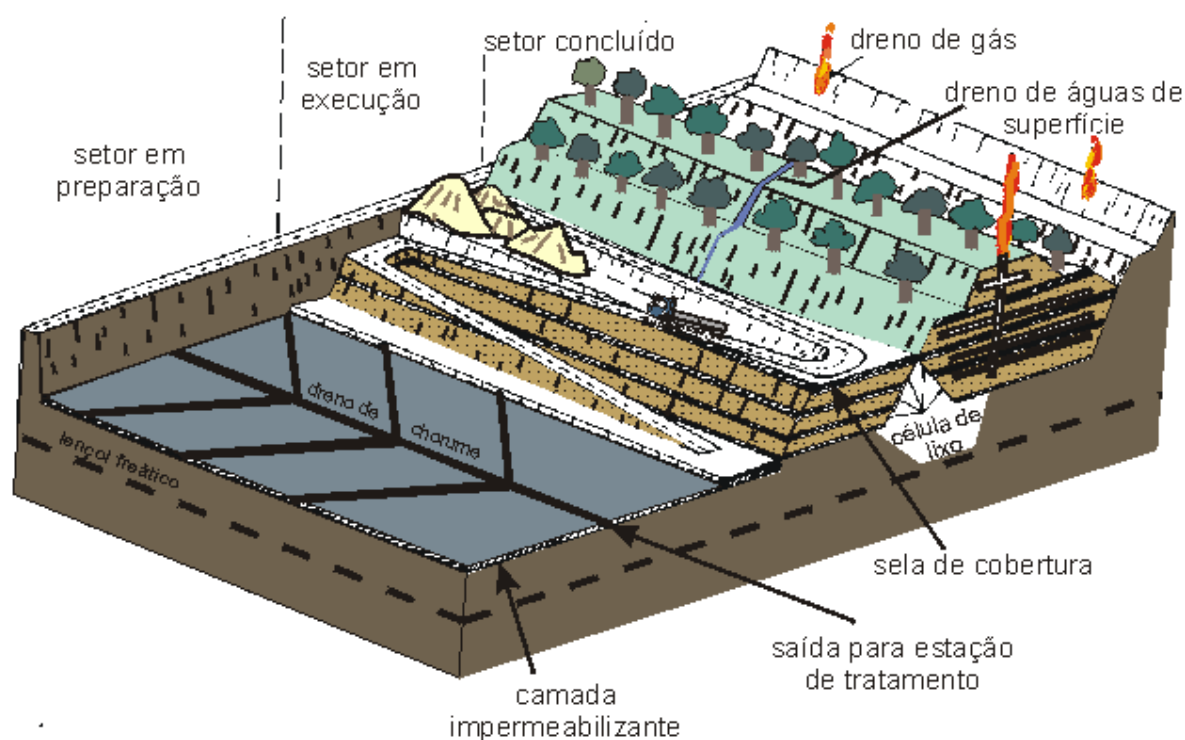


Figura 7 – Esquema metodológico de funcionamento e camadas de engenharia de um aterro sanitário (CONDE; STACHIW; FERREIRA, 2014).



Figura 8 – Aterro sanitário no DF (CAMPOS, 2022).

Isso o diferencia radicalmente dos **lixões**, que são simples depósitos de lixo a céu aberto, sem nenhum tipo de controle ou tratamento, gerando contaminação do solo, da água e do ar, além de graves problemas de saúde pública (SANTOS et al., 2015; MIRELLA et al., 2017). A persistência de quase 3 mil lixões ativos no Brasil evidencia a dificuldade dos municípios em cumprir a legislação e reforça a urgência de ferramentas que auxiliem na gestão deste problema (ARANTES; PEREIRA, 2021).

A Figura 9 apresenta uma imagem do lixão na cidade de Luziânia.



Figura 9 – Lixão em Luziânia (ESTEFAN, 2021).

2.5 Educação Ambiental e Participação Comunitária

A sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos não depende apenas de tecnologia e infraestrutura, mas fundamentalmente da mudança de comportamento e do engajamento da sociedade. Reconhecendo isso, a PNRS elege a **Educação Ambiental** como um de seus instrumentos essenciais (ARANTES; PEREIRA, 2021). Ela é definida como um processo por meio do qual “o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente” (ARANTES; PEREIRA, 2021). No contexto dos resíduos sólidos, a educação ambiental atua em duas frentes principais:

1. **Conscientização para a Redução:** Promove a reflexão sobre os padrões de

consumo, incentivando práticas alinhadas aos “3Rs” (Reduzir, Reutilizar, Reciclar) e a adoção de um consumo mais consciente, que questiona a real necessidade de aquisição e o ciclo de vida dos produtos.

2. **Fomento à Participação:** Informa e capacita os cidadãos sobre seu papel na gestão de resíduos, principalmente no que tange à separação correta dos materiais para a coleta seletiva e ao descarte adequado de resíduos especiais.

2.6 Tecnologias Aplicadas à Gestão de Resíduos

A complexidade da gestão de resíduos em centros urbanos modernos tem impulsionado a adoção de novas tecnologias para otimizar processos, gerar dados e melhorar a tomada de decisão. Existe uma tendência global de modernização do setor, que inclui diversas outras inovações tecnológicas:

- **Sistemas de Rastreamento e Otimização de Rotas:** Utilização de GPS e softwares de roteirização para otimizar os trajetos dos caminhões de coleta, economizando combustível e tempo, além de garantir a cobertura de todas as áreas planejadas.
- **Sensores e Internet das Coisas (IoT):** Instalação de sensores em lixeiras e contêineres públicos que informam em tempo real seu nível de preenchimento. Isso permite a chamada “coleta inteligente”, onde os caminhões só são enviados quando necessário, evitando viagens desnecessárias ou o transbordamento de lixo.
- **Plataformas de Dados e Análise (*Big Data*):** Centralização de dados de diversas fontes (sensores, pesagem de caminhões, dados demográficos) para realizar análises preditivas sobre a geração de resíduos, permitindo um planejamento mais acurado da infraestrutura necessária.
- **Aplicações Móveis e Ciência Cidadã:** Desenvolvimento de aplicativos que funcionam como um canal direto entre o cidadão e a gestão de limpeza urbana. Esses apps podem ser usados para relatar problemas, consultar horários de coleta, encontrar pontos de entrega voluntária (ecopontos) e receber informações sobre reciclagem.

É nessa última categoria que se insere o “*GreenEye*”: uma aplicação web de uso genérico que permite ao cidadão registrar ocorrências de descarte irregular com geolocalização e fotografia, conectando a ocorrência diretamente aos gestores públicos e às empresas parceiras de coleta, e disponibilizando os dados em um mapa interativo acessível à comunidade. Para os fins desta pesquisa, o município de Luziânia-GO foi utilizado como área piloto para a coleta de dados e validação do sistema.

3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

A capacidade de compreender e analisar o espaço geográfico é fundamental para a gestão de qualquer território. Desde a antiguidade, os mapas têm sido a principal ferramenta para representar o mundo, mas com a revolução digital, surgiram tecnologias capazes não apenas de representar, mas de analisar dinamicamente as informações espaciais. Neste contexto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) se consolidaram como a principal ferramenta para a gestão moderna, integrando dados, análises e visualização de uma forma que transcende os mapas tradicionais.

Este capítulo apresenta o referencial teórico da tecnologia central deste projeto. A abordagem se inicia com os conceitos fundamentais sobre a representação da Terra e os sistemas de coordenadas, avança para a modelagem dos dados geográficos, explora as principais técnicas de análise espacial que um SIG possibilita e, por fim, detalha como esses dados são armazenados e representados, com foco nas tecnologias escolhidas para o sistema “*GreenEye*”.

3.1 Os Componentes Essenciais de um SIG

Um Sistema de Informação Geográfica é mais do que apenas um *software*; é um sistema integrado composto por cinco componentes interdependentes que, juntos, permitem a captura, o armazenamento, a análise e a apresentação de dados georreferenciados. No contexto do projeto “*GreenEye*”, esses componentes se materializam da seguinte forma:

1. **Hardware:** Refere-se à infraestrutura física que suporta o sistema. Isso inclui desde os servidores onde a aplicação e o banco de dados *PostgreSQL/PostGIS* estão hospedados, até os dispositivos dos usuários finais (computadores, *smartphones* e *tablets*) que acessam o sistema.
2. **Software:** Compreende os programas que fornecem as ferramentas para operar o sistema. Os *softwares* de SIG podem variar de aplicações desktop (como *QGIS*) a bancos de dados espaciais (como *PostgreSQL/PostGIS*) e bibliotecas de mapas web (como *Leaflet* ou *OpenLayers*).
3. **Dados:** São o componente mais valioso de um SIG. Incluem tanto os dados espaciais (as coordenadas dos pontos de descarte) quanto os dados de atributos (descrição da

ocorrência, *status*, data). No projeto, há também dados de base, como o mapa de ruas de Luziânia (fornecido por serviços como o *OpenStreetMap*).

4. **Pessoas:** São os usuários do sistema. Estes podem variar desde técnicos especializados que operam o *software* e realizam análises complexas, até o público geral ou gestores que consomem os mapas e relatórios para tomada de decisão.
5. **Métodos:** Correspondem aos fluxos de trabalho e às boas práticas que governam o uso do sistema. Isso inclui desde a metodologia de desenvolvimento adotada, até os procedimentos operacionais para a validação de uma ocorrência e a atualização de seu *status*, garantindo a consistência dos dados.

3.2 A Representação da Terra e as Coordenadas Geográficas

Para que um SIG possa funcionar, ele precisa de um sistema para localizar qualquer ponto na superfície da Terra de forma inequívoca. Esse sistema se baseia em um modelo matemático do nosso planeta e em um sistema de coordenadas global.

3.2.1 Modelando o Planeta: Do Geoide ao Elipsoide

A Terra não é uma esfera perfeita; sua forma real é irregular, influenciada pela gravidade e rotação, assemelhando-se a um **geoide**. Como essa forma é matematicamente complexa, os cartógrafos a aproximam para um **elipsoide de revolução**, que é um sólido gerado pela rotação de uma elipse. Este modelo matemático, mais simples, serve como a superfície de referência para os cálculos de coordenadas (CÂMARA et al., 1996).

Diferentes regiões do mundo adotam elipsoides que melhor se ajustam à sua realidade local. No Brasil, e na maior parte do mundo para aplicações globais via GPS, o sistema de referência geodésico mais utilizado é o **SIRGAS 2000** (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), que por sua vez é compatível com o **WGS 84** (World Geodetic System 1984). Este é o padrão utilizado em aplicações de mapas na web, como o Google Maps e o Leaflet, e, portanto, é o adotado neste projeto.

3.2.2 Latitude e Longitude: O Endereço da Terra

Uma vez definida a superfície de referência (o elipsoide), é possível “endereçar” qualquer ponto nela utilizando o sistema de coordenadas geográficas, baseado em latitude e longitude, conforme apresentado na Figura 10. Nesta imagem, é possível observar a representação dos paralelos (linhas horizontais) que definem a latitude, e dos meridianos (linhas verticais) que definem a longitude.

- **Latitude:** É a distância angular, medida em graus, de um ponto em relação à **Linha do Equador** (o paralelo de 0°). A latitude varia de 0° no Equador a 90° nos polos, sendo 90° Norte (N) no Polo Norte e 90° Sul (S) no Polo Sul. Linhas de mesma latitude são chamadas de **paralelos**.
- **Longitude:** É a distância angular, medida em graus, de um ponto em relação ao **Meridiano de Greenwich** (o meridiano de 0°). A longitude varia de 0° em Greenwich a 180° para Leste (L ou E) e 180° para Oeste (O ou W). Linhas de mesma longitude são chamadas de **meridianos** (CÂMARA et al., 1996).

Qualquer ponto na superfície terrestre pode ser univocamente identificado por um par de coordenadas (latitude, longitude). Por exemplo, a cidade de Luziânia-GO está localizada aproximadamente nas coordenadas 16.25° Sul de latitude e 47.95° Oeste de longitude. A Figura 10 apresenta a Representação do sistema de coordenadas geográficas, ilustrando os paralelos (linhas de latitude, à esquerda) e os meridianos (linhas de longitude, à direita).

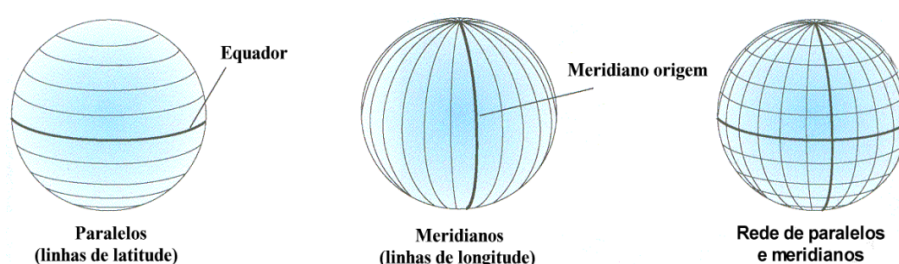


Figura 10 – Representação das linhas de latitude (paralelos) e longitude (meridianos) sobre a superfície esférica terrestre adaptado de ESRI (Environmental Systems Research Institute, 2001).

3.2.3 Projeções Cartográficas

O desafio final é representar a superfície curva da Terra em um mapa plano. Esse processo é chamado de **projeção cartográfica**. É matematicamente impossível fazer essa transposição sem que ocorra algum tipo de distorção, seja na forma, na área, na distância ou nos ângulos dos objetos representados (CÂMARA et al., 1996).

Existem centenas de projeções, cada uma otimizada para um propósito. Em sistemas de mapas para a web, a projeção mais comum é a **Mercator** (ou uma variação chamada Web Mercator), que preserva as formas e os ângulos locais, sendo ideal para navegação, mas distorce as áreas, fazendo com que regiões próximas aos polos pareçam muito maiores do que realmente são. As bibliotecas de mapas como o Leaflet gerenciam essas projeções de forma transparente para o usuário e para o desenvolvedor. A Figura 11 apresenta os principais tipos de projeções cartográficas: Cilíndrica, Cônica e Plana. A imagem ilustra

como a superfície curva da Terra é projetada sobre diferentes superfícies geométricas para a criação de mapas planos.

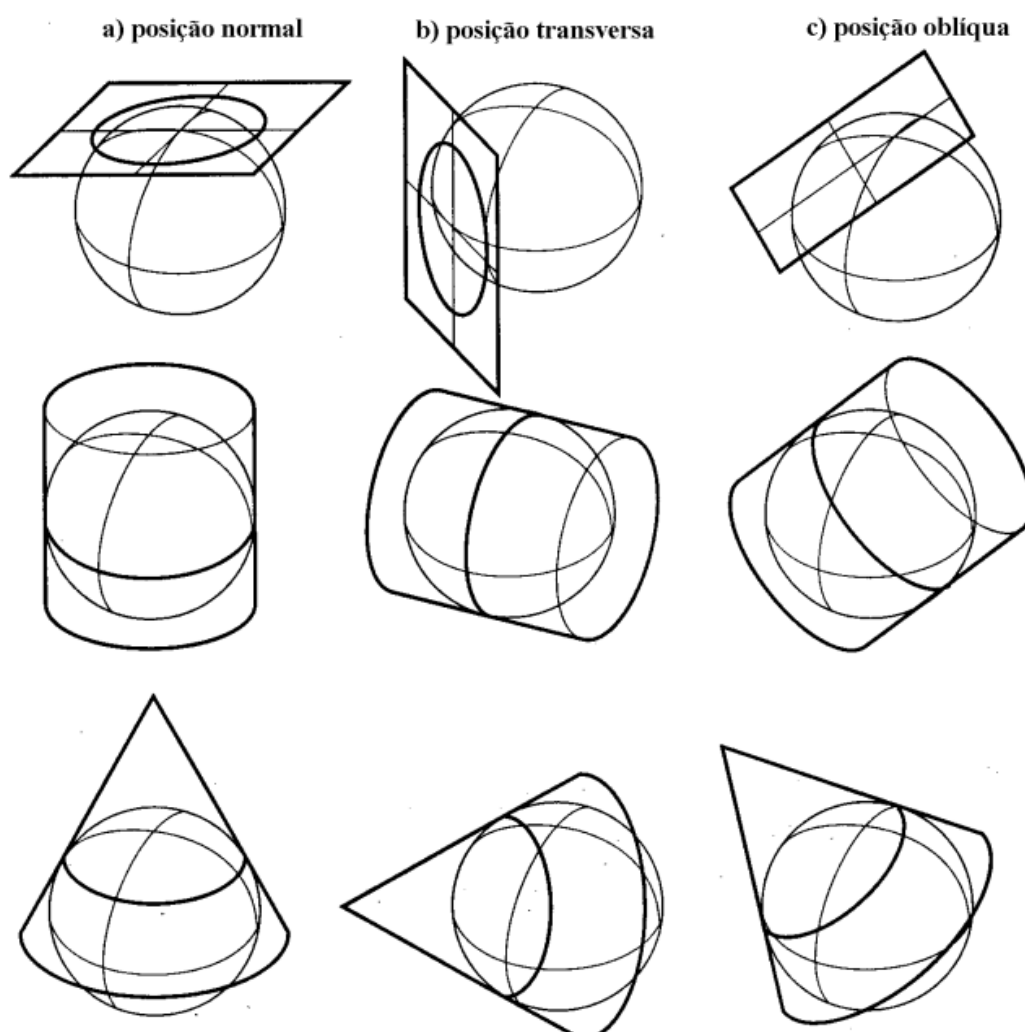


Figura 11 – Classificação das projeções cartográficas quanto à superfície e ao ponto de contato (JONES, 1997).

3.3 Modelagem de Dados Geográficos

Para que seja possível analisar o espaço em um SIG, é necessário primeiro criar uma representação computacional do mundo real (FERREIRA, 2006). Esse processo, chamado de modelagem de dados, consiste em selecionar fenômenos e entidades de interesse, abstraindo-os e generalizando-os (CÂMARA et al., 1996).

No contexto de aplicações de SIG, o mundo real é frequentemente modelado segundo duas visões complementares: o **modelo de campos** e o **modelo de objetos** (CÂMARA et al., 1996).

- **Modelo de Campos (*Field-based*):** Enxerga o mundo como uma superfície contínua, sobre a qual os fenômenos geográficos variam. Imagine um mapa de

temperatura: cada ponto no espaço possui um valor de temperatura, e esses valores variam continuamente. Outros exemplos incluem altitude, precipitação ou poluição atmosférica.

- **Modelo de Objetos (*Object-based*):** Representa o mundo como uma superfície ocupada por objetos distintos e identificáveis, com geometria e características próprias. Estes objetos possuem limites claros. Exemplos são ruas, edificações, rios, limites de municípios ou, no caso deste trabalho, os locais de descarte de lixo (CÂMARA et al., 1996).

Essa dicotomia conceitual se reflete diretamente na forma como os dados são armazenados e processados no computador, por meio de duas estruturas de dados fundamentais (FERREIRA, 2006):

- **Estrutura Matricial (*Raster*):** É a representação ideal para o modelo de campos. Consiste em uma grade (ou matriz) de células, conhecidas como pixels, onde cada célula possui um valor numérico que representa uma característica do terreno. Imagens de satélite, fotografias aéreas e modelos digitais de elevação são exemplos clássicos de dados no formato *raster*.
- **Estrutura Vetorial:** É a representação ideal para o modelo de objetos. Descreve os elementos do mundo real por meio de primitivas geométricas definidas por pares de coordenadas (x, y): **pontos** (para representar uma árvore ou um poste), **linhas** (para representar uma rua ou um rio) e **polígonos** (para representar um lote, um parque ou um município) (LOPES et al., 2018).

A Figura 12 apresenta o processo de abstração do mundo real para os modelos de dados em SIG. A camada inferior representa a realidade complexa, que é modelada em diferentes camadas de informação. As camadas superiores representam os dados no formato vetorial (pontos, linhas e polígonos) e no formato *raster* (grades e superfícies).

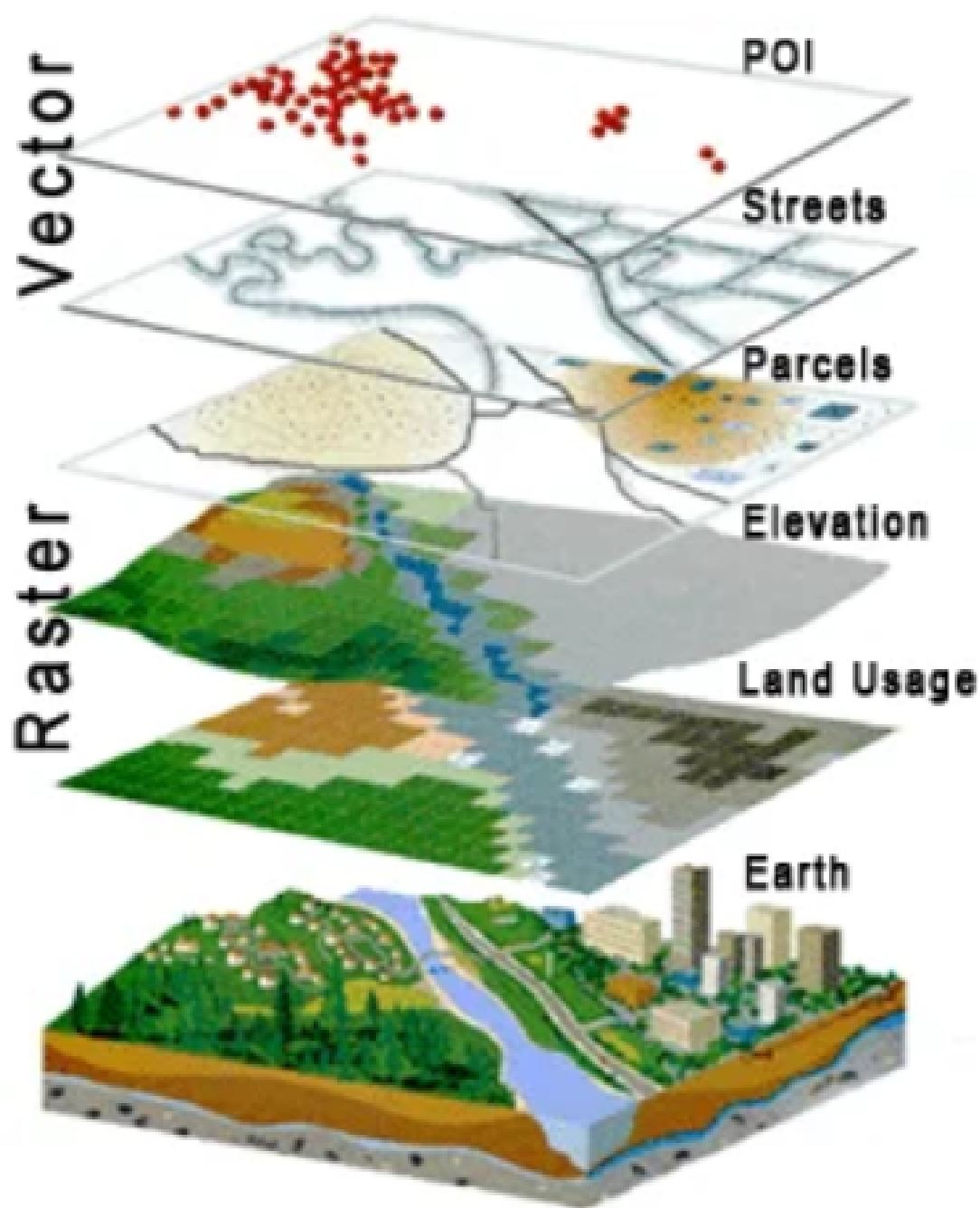


Figura 12 – Abstração do mundo real para os modelos de dados em SIG ([Electrical e-Library, 2019](#)).

3.4 Análise Espacial em SIG

A principal capacidade de um SIG, que o diferencia de um simples software de mapas, é a sua habilidade de realizar **análises espaciais**. A análise espacial é um conjunto

de técnicas que utilizam a localização e os atributos dos dados geográficos para extrair novas informações, identificar padrões e entender relacionamentos espaciais. As consultas típicas em um SIG podem ser caracterizadas ao longo de três eixos: **o que**, **onde** e **quando** (CÂMARA et al., 1996). Por exemplo, um SIG pode responder à pergunta: “Onde estão os locais de descarte irregular (o que) em um município (onde) registrados no último mês (quando)”.

Dentre as inúmeras ferramentas de análise, algumas são particularmente relevantes para este projeto:

3.4.1 Análise de Proximidade (*Buffer*)

Uma das ferramentas de análise mais comuns e poderosas em SIG é o **buffer**. Um buffer pode ser traduzido como uma “área de influência” ou “limite de abrangência” em torno de um objeto geográfico (LOPES et al., 2018). Ele permite analisar o entorno de um ponto de interesse e pode variar em sua forma:

- **Buffer Circular (Euclidiano):** Cria uma área de raio constante a partir do centro de um objeto, sendo útil para análises de proximidade em linha reta. Exemplo: “Quais pontos de descarte estão a menos de 500 metros de um rio?”.
- **Buffer de Rede (Network Buffer):** Cria uma área de abrangência baseada nas rotas possíveis de serem percorridas, como a malha de ruas, representando de forma mais realista o deslocamento no espaço urbano. Exemplo: “Quais residências estão a uma distância de caminhada de 1 km de um ponto de descarte?”.

3.4.2 Análise de Sobreposição (*Overlay*)

A análise de sobreposição permite integrar diferentes camadas de informação para criar um novo mapa que combina os atributos de todas elas. É como empilhar mapas transparentes e analisar as áreas onde diferentes características coincidem. Por exemplo, um gestor poderia sobrepor a camada de pontos de lixo com a camada de limites de bairros e com a camada de áreas de preservação ambiental para responder a perguntas como: “Qual bairro tem a maior concentração de lixões?” ou “Quantos pontos de descarte estão localizados dentro de áreas de preservação?”.

3.4.3 Análise de Padrões (*Pattern Analysis*)

Esta categoria de análise busca identificar tendências e padrões na distribuição espacial dos dados. Uma das técnicas mais visuais e eficazes é a criação de **mapas de calor (heatmaps)**, que usam uma escala de cores para mostrar onde há maior concentração de pontos. No sistema “GreenEye”, essa técnica foi implementada por meio da biblioteca

leaflet.heat, permitindo que os gestores identifiquem visualmente os *hotspots* de descarte irregular — as áreas mais críticas da região monitorada que demandam atenção prioritária.

3.5 Armazenamento e Representação dos Dados

A forma como os dados geográficos são armazenados e, posteriormente, apresentados ao usuário é crucial para a performance e a utilidade de um sistema SIG.

3.5.1 Armazenamento de Dados com *PostGIS*

Com a evolução dos SIGs, os Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) com extensões espaciais tornaram-se a base para sistemas robustos. Para este projeto, foi escolhido o ***PostgreSQL com a extensão PostGIS***. O *PostGIS* adiciona tipos de dados e funções espaciais ao *PostgreSQL*, transformando-o em um poderoso banco de dados geográfico que pode (FERREIRA, 2006):

- Armazenar nativamente os dados vetoriais como feições de **Ponto, Linha e Polígono**.
- Criar **índices espaciais** (como o GIST), que aceleram drasticamente as consultas geográficas, tornando a navegação no mapa rápida e fluida.
- Executar centenas de **funções espaciais** diretamente no banco de dados, como cálculos de distância, área, interseção e *buffer*, garantindo alta performance para as ferramentas de análise.
- Gerenciar a **topologia**, que é o relacionamento espacial entre as feições (adjacência, conectividade, etc.), garantindo a integridade dos dados para análises confiáveis (FERREIRA, 2006).

No “*GreenEye*”, o *PostGIS* foi efetivamente utilizado no agrupamento geográfico das ocorrências para o painel analítico. A função `ST_SnapToGrid(localizacao, 0.002)` agrupa automaticamente os pontos de descarte em células de uma grade geográfica, permitindo calcular a densidade de ocorrências por região e alimentar o mapa de calor com dados precisos. Essa abordagem é mais robusta e semanticamente correta do que o arredondamento manual de coordenadas, pois opera diretamente sobre a geometria armazenada no banco.

3.5.2 Representação em Mapas

O resultado de uma análise em SIG é, na maioria das vezes, um mapa (LOPES et al., 2018). No contexto de um *WebSIG*, esses mapas são dinâmicos e interativos. Os principais tipos de representação utilizados no sistema são:

- **Mapas Temáticos:** Apresentam a distribuição de um tema específico. No “*GreenEye*”, o mapa de calor exibe a densidade de ocorrências por área, e os marcadores individuais são coloridos de acordo com o status da ocorrência (Nova, Em verificação, Cedido, Revisão, Resolvida e Unificada) (CÂMARA et al., 1996).
- **Mapas Cadastrais:** Apresentam objetos identificáveis do mundo real, como lotes, edificações e a malha de ruas. No sistema, essa é a “camada base” fornecida pelo *OpenStreetMap* via *Leaflet*, sobre a qual os pontos de descarte são exibidos (CÂMARA et al., 1996).
- **Mapas Dinâmicos (WebMap):** Em contraste com os mapas estáticos (impressos ou em imagem), os mapas dinâmicos são interativos e publicados na web. Eles permitem que o usuário navegue (*zoom*, *pan*), clique nos objetos para obter mais informações e filtre os dados exibidos (LOPES et al., 2018).

3.6 A Evolução para a Web: *WebSIG* e Geotecnologias Acessíveis

A disseminação da *Internet* transformou radicalmente o acesso e o uso de informações geográficas. Os Sistemas de Informação Geográfica, antes restritos a *softwares* de alta complexidade e operados por especialistas, evoluíram para plataformas *online*, dando origem ao conceito de ***WebSIG*** (Sistema de Informação Geográfica para *Web*). Um *WebSIG* é um sistema distribuído que disponibiliza funcionalidades de SIG por meio de um navegador *web*, democratizando o acesso e permitindo a colaboração em massa.

A arquitetura de um *WebSIG*, geralmente baseada no modelo cliente-servidor, permite que tarefas complexas de processamento e armazenamento de dados sejam executadas em um servidor robusto (*backend*), enquanto o usuário interage com uma interface leve e intuitiva (*frontend*). Essa separação é o que viabiliza a participação cidadã em projetos de mapeamento colaborativo, pois exige do usuário final apenas um dispositivo com acesso à *internet*, sem a necessidade de instalação de *softwares* especializados.

3.6.1 Tecnologias Fundamentais para *WebSIGs*

A construção de um *WebSIG* moderno depende da orquestração de diversas tecnologias abertas, que garantem interoperabilidade e escalabilidade. Para o sistema “*GreenEye*”, a escolha de tecnologias como *Leaflet* e *PostGIS* foi estratégica, por combinarem maturidade, licença aberta e suporte a dados espaciais vetoriais nativos.

- **Bibliotecas de Mapas (*Frontend*):** Ferramentas como *Leaflet.js* ou *OpenLayers* são bibliotecas *JavaScript* que simplificam a renderização de mapas interativos no navegador. Elas são responsáveis por consumir dados de diferentes fontes, exibir

camadas de informação (como os pontos de descarte) e gerenciar a interação do usuário (*zoom*, clique, seleção de área). Sua leveza e extensibilidade as tornam ideais para aplicações *web* e móveis.

- **Padrões de Interoperabilidade (OGC):** O *Open Geospatial Consortium* (OGC) define uma série de padrões abertos que permitem que diferentes sistemas geoespaciais “conversem” entre si. Padrões como WMS (*Web Map Service*), para a publicação de imagens de mapas, e WFS (*Web Feature Service*), para o acesso a dados vetoriais, são a base para a construção de uma infraestrutura de dados espaciais interoperável, evitando a dependência de um único fornecedor de tecnologia.

Estrutura Vetorial: É a representação ideal para o modelo de objetos (CÂMARA et al., 1996). Nesta estrutura, os elementos do mundo real são abstraídos e representados computacionalmente por meio de primitivas geométricas, cujas posições são definidas por coordenadas (x, y) em um sistema de referência (LOPES et al., 2018). Bancos de dados geográficos, como o *PostGIS*, são projetados para armazenar nativamente essas feições (FERREIRA, 2006). As três primitivas fundamentais são:

- **Ponto:** É a primitiva de dimensão zero, representada por um único par de coordenadas (x, y) que define sua localização. É utilizada para modelar objetos onde a área é irrelevante para a escala de análise, importando apenas sua posição. Exemplos clássicos incluem a localização de árvores, postes (LOPES et al., 2018), ou, no contexto do descarte de resíduos, a localização exata de um foco de lixo.
- **Linha (ou Polilinha):** É a primitiva de uma dimensão, formada por uma sequência ordenada de pontos (chamados vértices) conectados por segmentos de reta. É utilizada para modelar feições lineares do mundo real, permitindo o cálculo de propriedades como o comprimento. Exemplos comuns são a representação de ruas, redes de drenagem ou o leito de um rio (LOPES et al., 2018).
- **Polígono:** É a primitiva de duas dimensões, representada por uma sequência fechada de linhas (ou vértices), onde o ponto inicial e final coincidem, definindo uma fronteira. É utilizada para modelar feições que possuem área e perímetro. Exemplos incluem lotes urbanos, áreas de parques, limites de bairros ou a delimitação de um município (LOPES et al., 2018).

A Figura 13 ilustra a representação conceitual das três primitivas geométricas fundamentais do modelo vetorial (ponto, linha e polígono) distribuídas em um plano de coordenadas cartesianas.

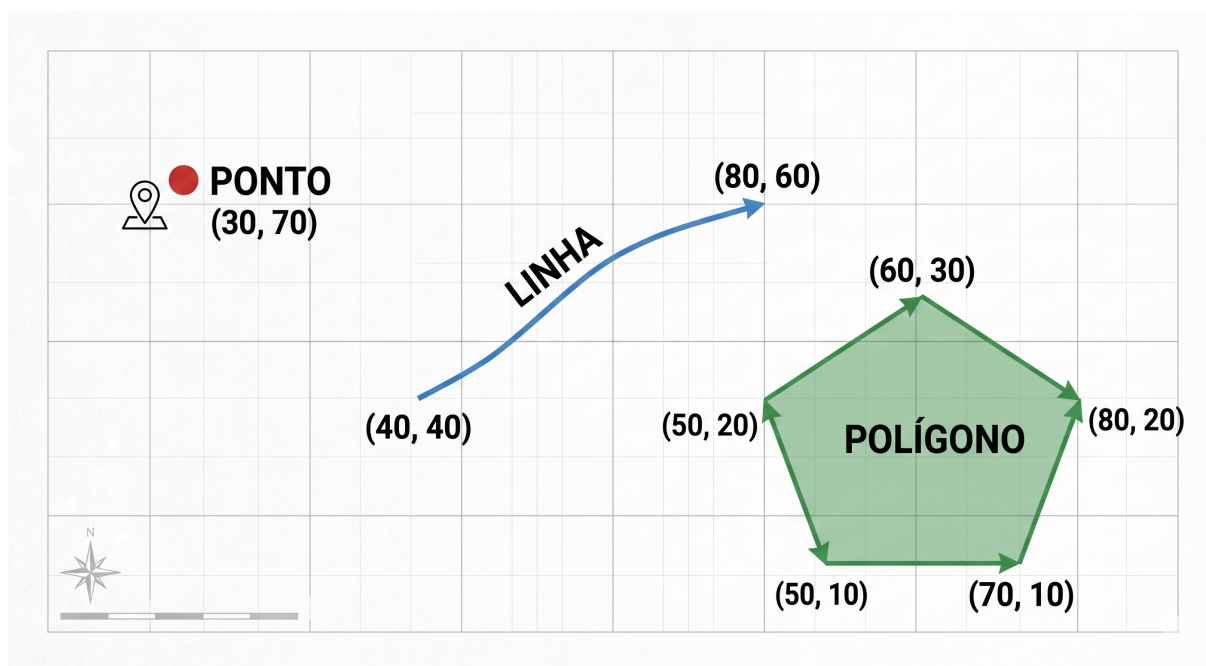


Figura 13 – Representação geométrica e estruturação matemática das primitivas vetoriais.

Fonte: O autor, com auxílio de ferramenta de inteligência artificial (2026).

A principal vantagem do modelo vetorial é que a cada uma dessas geometrias (seja um ponto, uma linha ou um polígono) é possível associar um registro em um banco de dados que armazena seus *atributos*, ou seja, os dados não-espaciais que descrevem aquela feição, como o nome de uma rua, o tipo de lixo em um ponto, ou o nome de um bairro (CÂMARA et al., 1996).

4 O SISTEMA *GREENEYE*

Diante do problema da gestão inadequada de resíduos sólidos e da necessidade de ferramentas eficientes para o seu monitoramento, este trabalho desenvolveu e validou o desenvolvimento do sistema “*GreenEye*”. Trata-se de uma plataforma de Sistema de Informação Geográfica para Web (WebSIG) projetada para ser uma ponte entre a gestão pública municipal e os cidadãos, tendo como área piloto o município de Luziânia-GO, no que tange à identificação e ao gerenciamento de pontos de descarte irregular de lixo.

O sistema foi desenvolvido como uma ferramenta colaborativa, permitindo que a população atue como agente fiscalizador, ao mesmo tempo em que fornece ao poder público dados georreferenciados e organizados para subsidiar a tomada de decisões, otimizar a alocação de recursos e promover um ambiente urbano mais limpo e saudável.

4.1 Disponibilização do Código-Fonte

Com o objetivo de garantir a reprodutibilidade, transparência e continuidade do projeto, o código-fonte do sistema “*GreenEye*” foi disponibilizado publicamente na plataforma GitHub.

O repositório contém a implementação completa da aplicação WebSIG, incluindo o frontend desenvolvido em React, o backend em Node.js/Express e a modelagem do banco de dados *PostgreSQL/PostGIS*.

O acesso ao repositório pode ser realizado pelo link:

[<https://github.com/Julymira/Green-Eye-TCC>](https://github.com/Julymira/Green-Eye-TCC)

A Figura 14 apresenta o QR Code para acesso direto ao repositório do projeto.

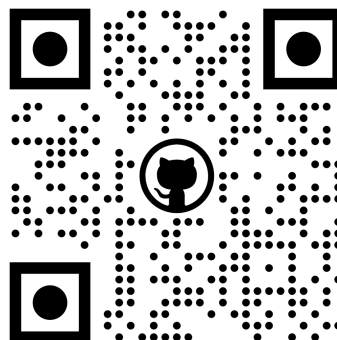


Figura 14 – QR Code para acesso ao repositório do projeto *GreenEye* no GitHub (MEDEIROS, 2026).

4.2 Arquitetura da Solução

O “*GreenEye*” foi desenvolvido sobre uma arquitetura de software moderna, robusta e escalável, baseada no modelo cliente-servidor em três camadas (*three-tier*), conforme detalhado a seguir:

- **Camada de Apresentação (*Frontend*/Cliente):** É uma *Single Page Application* (SPA) desenvolvida em *React*. Esta camada é inteiramente responsável pela interface com o usuário (UI) e pela experiência do usuário (UX). Ela consome os dados expostos pela API do *backend* e os renderiza de forma interativa, com foco principal na visualização do mapa e na submissão de ocorrências. Por ser executada no navegador do usuário, ela independe do sistema operacional utilizado, seja em *desktops* ou dispositivos móveis.
- **Camada de Aplicação (*Backend*/Servidor):** O coração do sistema, é uma *API RESTful* desenvolvida em Node.js com o *framework Express*. Esta camada é responsável por toda a lógica de negócio, incluindo: autenticação e gerenciamento de usuários, recebimento e validação de novas ocorrências, processamento de imagens (*upload*) e a execução de consultas (espaciais e não espaciais) no banco de dados. Ela serve como uma ponte segura e eficiente entre o *frontend* e a camada de persistência.
- **Camada de Persistência (Banco de Dados):** Para o armazenamento dos dados, foi utilizado o Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) *PostgreSQL*, um sistema objeto-relacional de código aberto reconhecido por sua robustez e confiabilidade. O diferencial é o uso da extensão ***PostGIS***, que transforma o *PostgreSQL* em um poderoso banco de dados geográfico, capaz de armazenar, indexar e realizar consultas espaciais complexas de forma nativa e altamente performática.

A comunicação entre o *frontend* e o *backend* se dá por meio de requisições HTTP, utilizando o formato JSON (*JavaScript Object Notation*) para a troca de dados, um padrão leve e amplamente adotado em aplicações web modernas.

4.3 Modelagem do Banco de Dados

A estrutura do banco de dados foi projetada para garantir a eficiência no armazenamento das ocorrências georreferenciadas e a segurança no acesso administrativo. O modelo físico foi implementado em *PostgreSQL* com a extensão *PostGIS* ativa e consiste nas seguintes tabelas principais:

- ***users(administradores)*:** Tabela destinada ao armazenamento das credenciais de acesso dos usuários administrativos do sistema. O *login* é realizado por meio de CPF

e senha criptografada. A tabela inclui o campo *role*, que distingue dois perfis de acesso: *gestor* (responsável pelo gerenciamento das ocorrências em seu município) e *superadmin*, com privilégios ampliados para administrar gestores e configurações globais do sistema.

- **reports(ocorrências):** A tabela central do sistema, responsável por persistir os dados de cada ocorrência registrada. A estrutura foi otimizada para consultas espaciais e inclui:
 - **Dados Descritivos:** Composto por campos textuais e de seleção que detalham a ocorrência, incluindo: a descrição detalhada (*description*), os problemas observados relatados (*problems_observed*), a estimativa volumétrica do descarte (*quantity_estimated*), o conteúdo binário da imagem (*photo_content* do tipo *BYTEA*) e o tipo de resíduo selecionado (*waste_type*).
 - **Data e Hora (*created_at*):** Registro automático do *timestamp* (data e hora) do momento da criação da ocorrência, essencial para análises de série temporal e monitoramento do tempo de resolução.
 - **Geolocalização (*location*):** Coluna do tipo *GEOMETRY(Point, 4326)* do *PostGIS*, configurada com a restrição *NOT NULL*. Em vez de armazenar latitude e longitude isoladamente de forma numérica simples, o campo encapsula o objeto geométrico de ponto espacial. Isso viabiliza o uso de índices espaciais do tipo *GIST*, garantindo alta performance em consultas geográficas nativas.
 - **Status:** O estado atual da ocorrência (definido por padrão como *Nova*), permitindo ao gestor controlar o fluxo de trabalho ao longo de seis estados possíveis: *Nova*, *Em verificação*, *Cedido*, *Revisão*, *Resolvida* e *Unificada*, refletindo as etapas do ciclo de atendimento de cada ocorrência.

A Figura 15 ilustra a arquitetura do banco de dados do projeto, evidenciando a disposição das tabelas, chaves primárias, chaves estrangeiras e a cardinalidade dos relacionamentos necessários para o gerenciamento das informações no sistema.

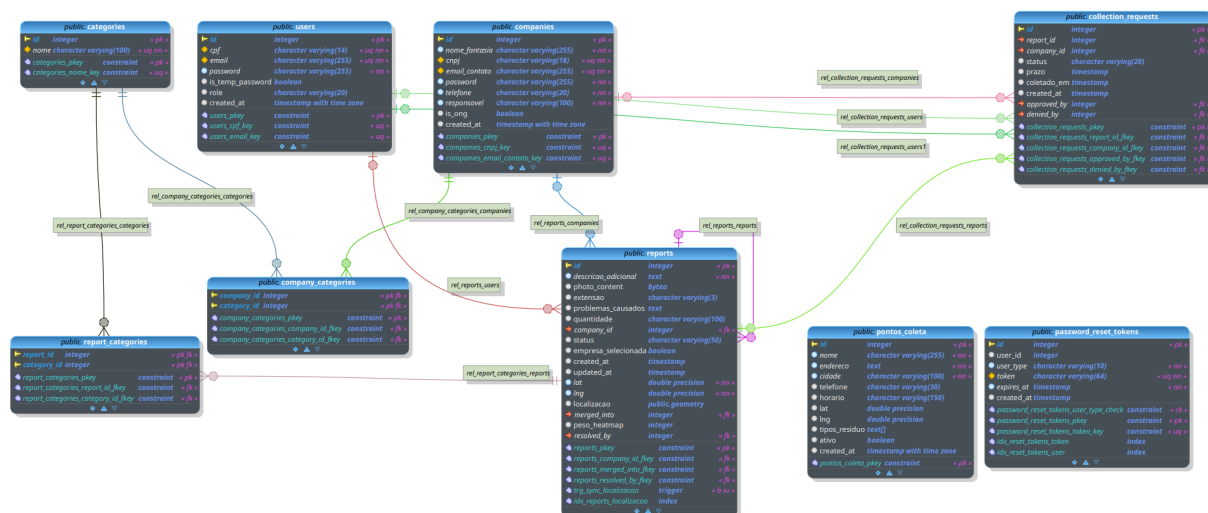


Figura 15 – Diagrama do Banco de Dados. Fonte: O autor (2026).

4.4 Requisitos do Sistema

Para definir o escopo completo do sistema “*GreenEye*”, os requisitos do projeto são divididos em duas categorias principais: Requisitos Funcionais, que descrevem o que o sistema deve fazer, e Requisitos Não Funcionais, que descrevem como o sistema deve operar e suas restrições de qualidade.

4.4.1 Requisitos Funcionais (RF)

Os requisitos funcionais descrevem as ações e funcionalidades específicas que o sistema deve ser capaz de executar. Eles são agrupados de acordo com os perfis de usuário da plataforma.

4.4.1.1 Módulo Público (Cidadão)

Este módulo é de acesso livre e focado na colaboração e visualização. Os requisitos funcionais deste módulo são:

RF01 Visualização do Mapa de Ocorrências: O usuário pode visualizar em um mapa interativo todos os pontos de descarte irregular que foram registras ocorrências. Os pontos são estilizados com cores diferentes de acordo com seu status (ex: Vermelho para ‘Nível Alto’, Laranja para ‘Nível Médio’, Azul para ‘Nível Baixo’, Verde para ‘Resolvido’).

RF02 Submissão de Nova Ocorrência: O sistema permite que o usuário realize o registro de um descarte inadequado de forma anônima. Esta funcionalidade é estruturada em um layout de duas colunas, exigindo obrigatoriamente a classificação

do tipo de resíduo (*waste_type*) por meio de botões de seleção e a marcação do ponto exato sobre o mapa interativo *Leaflet* (que captura e exibe as coordenadas geográficas no rodapé da seção). Adicionalmente, o formulário disponibiliza campos para o preenchimento de problemas observados (*problems_observed*), descrição opcional (*description*), inserção da estimativa volumétrica (*quantity_estimated*) e envio do conteúdo binário da imagem (*photo_content*) para armazenamento direto em formato *buffer* no banco de dados.

4.4.1.2 Módulo Administrativo (Gestor Municipal)

Este módulo exige autenticação e fornece as ferramentas para a gestão e análise dos dados. Os requisitos funcionais deste módulo são:

RF04 Autenticação de Gestor: O sistema possui uma tela de *login* segura para que apenas usuários autorizados (gestores) acessem o módulo administrativo.

RF05 Dashboard Gerencial: Ao realizar a autenticação, o gestor é direcionado a um painel de controle que centraliza indicadores numéricos em tempo real. O painel apresenta cartões de estatísticas rápidas com contadores exatos para ocorrências classificadas nos estados de ‘Novas’, ‘Em verificação’ e ‘Resolvidas’, além de dispor de uma tabela analítica para o gerenciamento individual de cada ocorrência registrada.

RF06 Gerenciamento de Ocorrências: O sistema permite que o gestor acesse uma lista ou tabela de todas as ocorrências. Ele pode visualizá-las em detalhe e alterar seu status (ex: de ‘Nova’ para ‘Em verificação’, ‘Cedido’, ‘Revisão’ ou ‘Resolvida’) conforme as ações de limpeza são realizadas, sendo considerada ‘Resolvida’ quando o local estiver limpo.

RF07 Ferramentas de Análise Espacial: O sistema disponibiliza ao gestor recursos de análise espacial executados em conjunto com a extensão *PostGIS* e bibliotecas do *frontend*. O gestor pode:

- Gerar **mapas de calor** (*heatmaps*): renderizar camadas dinâmicas de densidade que utilizam os pontos georreferenciados para identificar visualmente a concentração de focos críticos (*hotspots*) de descarte irregular.

RF08 Geração de Relatórios: O sistema permite a exportação de relatórios gerenciais (ex: estatísticas gerais) em formato PDF, para uso em apresentações e documentos oficiais.

RF09 Painel de Parcerias Corporativas: O sistema deve disponibilizar um módulo para empresas e ONGs parceiras, permitindo a visualização de ocorrências com resíduos compatíveis com sua atividade e a solicitação formal de recolhimento de materiais sinalizados como disponíveis.

4.4.2 Requisitos Não Funcionais (RNF)

Os requisitos não funcionais definem os critérios de qualidade e as restrições de operação do sistema, garantindo que ele seja eficiente, seguro e fácil de usar.

RNF01 Usabilidade: O processo de submissão de uma ocorrência deve ser realizado em, no máximo, 3 etapas principais, buscando simplificar a interação do usuário com o sistema.

RNF02 Desempenho: O mapa interativo (RF01) carrega, mesmo com centenas de pontos, em menos de 5 segundos. As consultas de análise espacial (RF07) no módulo do gestor retornam resultados em, no máximo, 10 segundos.

RNF03 Segurança: O módulo administrativo (RF04) é protegido contra acesso não autorizado. As senhas dos usuários gestores são armazenadas no banco de dados utilizando o algoritmo de *hash bcrypt*, e as sessões são gerenciadas por meio de *JSON Web Tokens (JWT)*.

RNF04 Compatibilidade: A aplicação pública (Módulo Público) é responsiva, adaptando-se e funcionando corretamente nos principais navegadores web (Google Chrome, Mozilla Firefox, Safari) tanto em dispositivos desktop quanto em dispositivos móveis (*smartphones*).

RNF05 Confiabilidade: O sistema garante a integridade dos dados geográficos, assegurando que as coordenadas salvas no banco de dados correspondam exatamente à localização informada pelo usuário no momento de registro da ocorrência.

RNF06 Interoperabilidade: O sistema utiliza padrões abertos (ex.: *PostGIS* e *GeoJSON*) para permitir que os dados gerados possam ser exportados e utilizados em outros softwares de SIG, como o QGIS. Além disso, o processo de autenticação foi projetado com suporte à identificação por CPF e CNPJ, visando facilitar futuras integrações com plataformas governamentais de autenticação digital, como o Gov.br, ampliando a interoperabilidade do sistema com serviços públicos e simplificando o acesso de cidadãos, empresas e instituições parceiras.

4.5 Resultados da Implementação e Interface do Usuário

A interface foi projetada com foco na simplicidade e na usabilidade, estabelecendo uma separação clara entre o módulo público e o módulo administrativo. O ecossistema de telas desenvolvido para o sistema é apresentado por meio das Figuras 16 a 41:

- **Tela Principal (Mapa - Figura 16 e 17):** É a página inicial para o público. Dominada por um mapa interativo (*Leaflet*) com os pontos de descarte representados

por ícones. Há um painel de filtros visível e um botão flutuante com o texto “Denunciar Novo Ponto”.

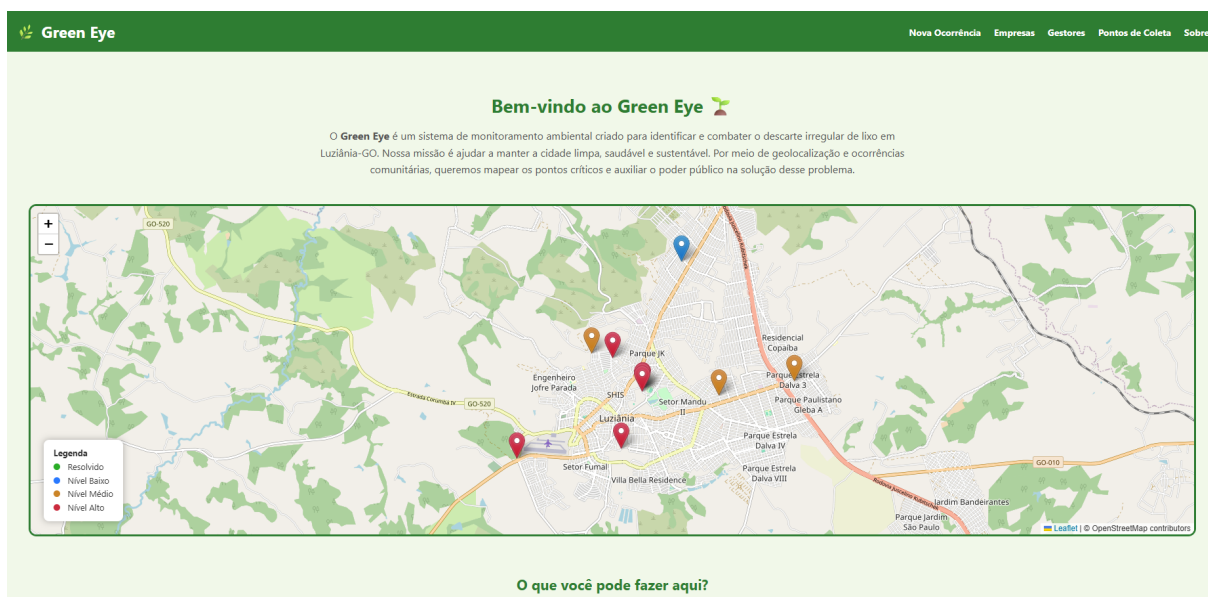


Figura 16 – Tela Principal (Mapa) do Módulo Público, apresentando o mapa interativo, a legenda e os links de navegação. Fonte: O autor (2026).



Figura 17 – Tela Principal (Cards) do Módulo Público, apresentando as ocorrências em formato de cartões. Fonte: O autor (2026).

- **Cadastro de Ocorrências - Figura 18:** Esta tela do módulo público foi estruturada em duas seções principais dispostas lado a lado para guiar o cidadão no registro do descarte irregular. À esquerda, na seção “1. Localização”, há um mapa interativo integrado com a biblioteca *Leaflet* utilizando a camada base padrão do *OpenStreetMap*, onde o usuário deve clicar no local exato do foco de lixo, exibindo logo abaixo uma barra informativa com as coordenadas geográficas capturadas. À direita, na seção “2.

Detalhes da Ocorrência”, é apresentado um formulário dinâmico contendo a seleção múltipla de botões para o tipo de resíduo (como Eletrônico, Entulho, Hospitalar, Móveis, Orgânico, Pneus e Reciclável), campos de seleção para a quantidade estimada, *inputs* textuais para problemas observados e descrição adicional, além de um campo opcional para *upload* de foto e o botão de envio destacado em verde com o texto “Enviar Ocorrência”.

Figura 18 – Cadastro Nova Ocorrência do Módulo Público, apresentando o mapa interativo, a legenda e formulário. Fonte: O autor (2026).

- **Pontos de Coleta - Figura 19 e 20:** Esta interface destina-se a orientar o cidadão sobre os locais oficiais e licenciados para o descarte correto de materiais recicláveis e resíduos especiais no município. Visualmente, a página é composta por um mapa interativo *Leaflet* ocupando a porção esquerda, onde marcadores georreferenciados sinalizam a localização exata de ecopontos e cooperativas parceiras. À direita, uma barra lateral exibe a listagem desses pontos em cartões dinâmicos, detalhando o nome da instituição, o endereço físico completo e os tipos de materiais aceitos em cada localidade. O usuário pode interagir diretamente com a listagem ao clicar no botão “Ver no mapa”, o que aciona o reposicionamento automático e o foco (*pan/zoom*) do mapa sobre o ponto selecionado. Cabe ressaltar que os pontos de coleta exibidos nas figuras mesclam dados reais e ilustrativos. Enquanto alguns marcadores representam estabelecimentos reais que lidam com materiais específicos (como eletrônicos), outros foram inseridos de forma fictícia com o objetivo exclusivo de demonstrar a diversidade

de funcionalidades do sistema e a variedade de *tags* de categorização (ex.: eletrônico, orgânico, entre outros).

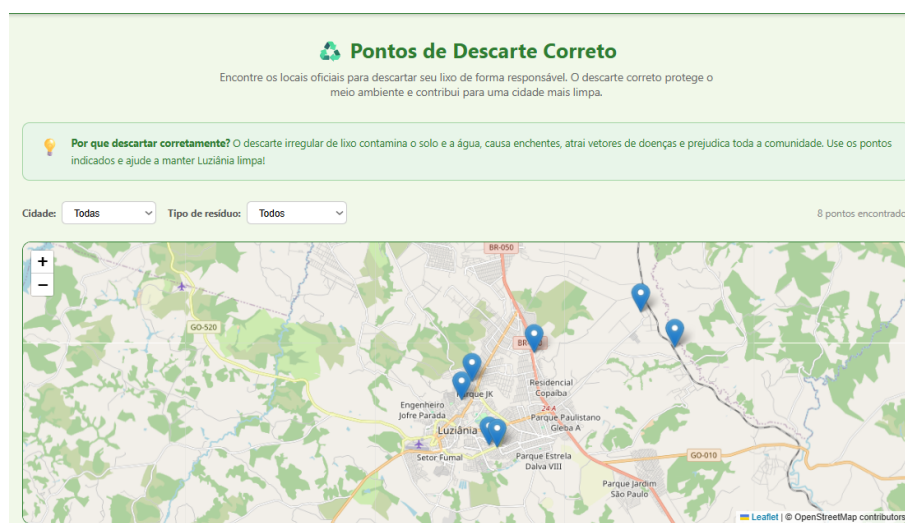


Figura 19 – Interface de consulta do Módulo Público, apresentando o mapa interativo de pontos de coleta licenciados e a barra lateral de informações. Fonte: O autor (2026).

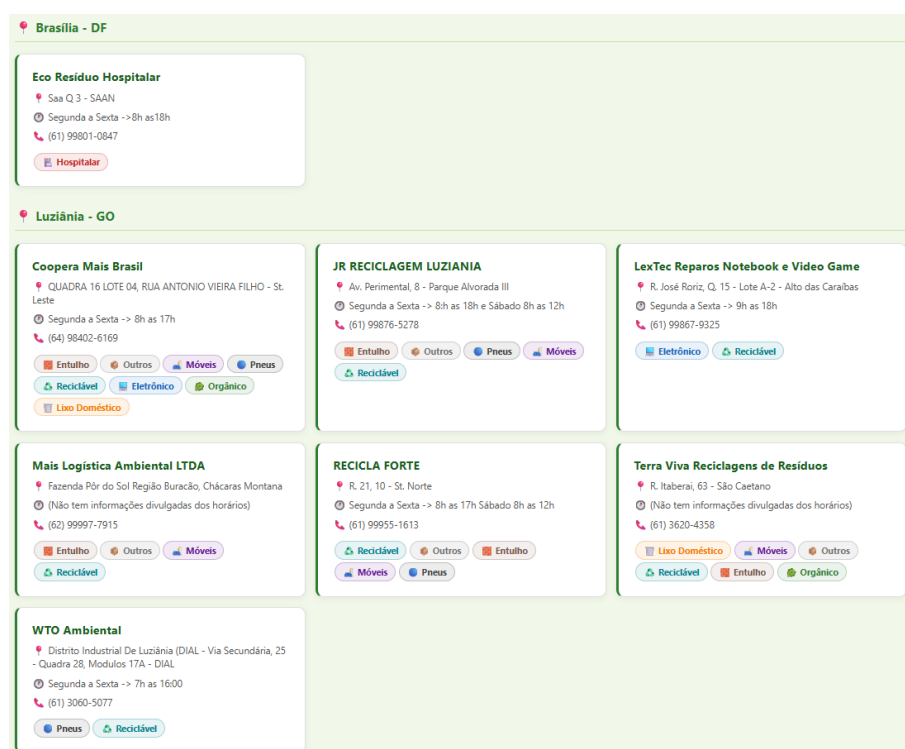


Figura 20 – Interface de consulta do Módulo Público, apresentando o mapa interativo de pontos de coleta licenciados e a barra lateral de informações. Fonte: O autor (2026).

- **Sobre - Figura 21 22:** Esta seção funciona como a página institucional e informativa da plataforma, contextualizando os objetivos do projeto para a comunidade. O

layout apresenta um design limpo e predominantemente textual, estruturado para explicar a fundamentação conceitual do sistema baseada na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e nos pilares da Economia Circular. A tela detalha de forma didática o funcionamento do ecossistema do “GreenEye”, descrevendo como o fluxo de fiscalização colaborativa integra os cidadãos (na identificação de focos irregulares) e as cooperativas e empresas parceiras (operacionalizando a destinação final e logística reversa adequada), reforçando o papel da ciência cidadã na preservação ambiental urbana.

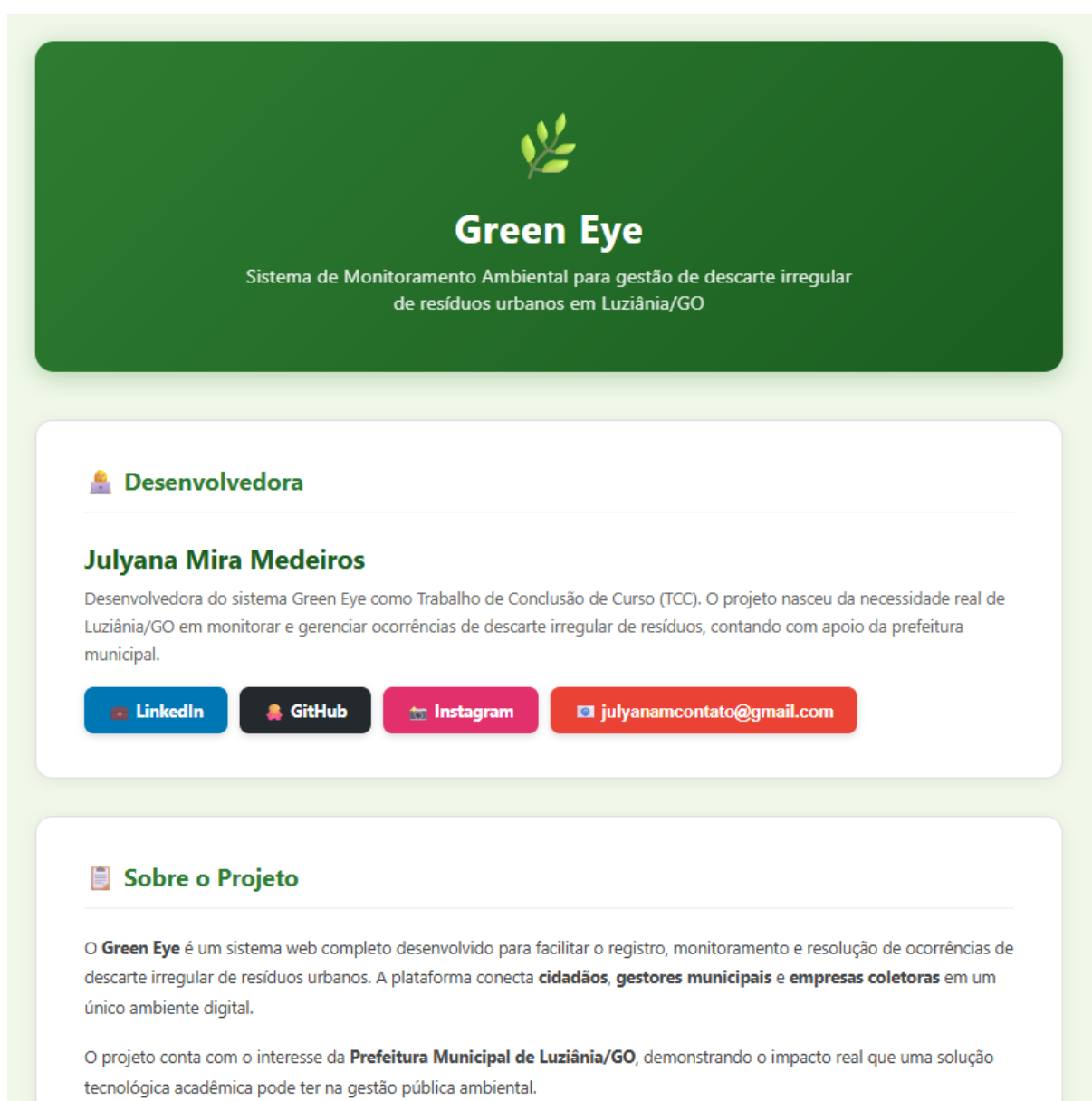


Figura 21 – Seção superior da interface institucional “Sobre”, detalhando os objetivos do sistema e sua fundamentação baseada na PNRS e Economia Circular. Fonte: O autor (2026).

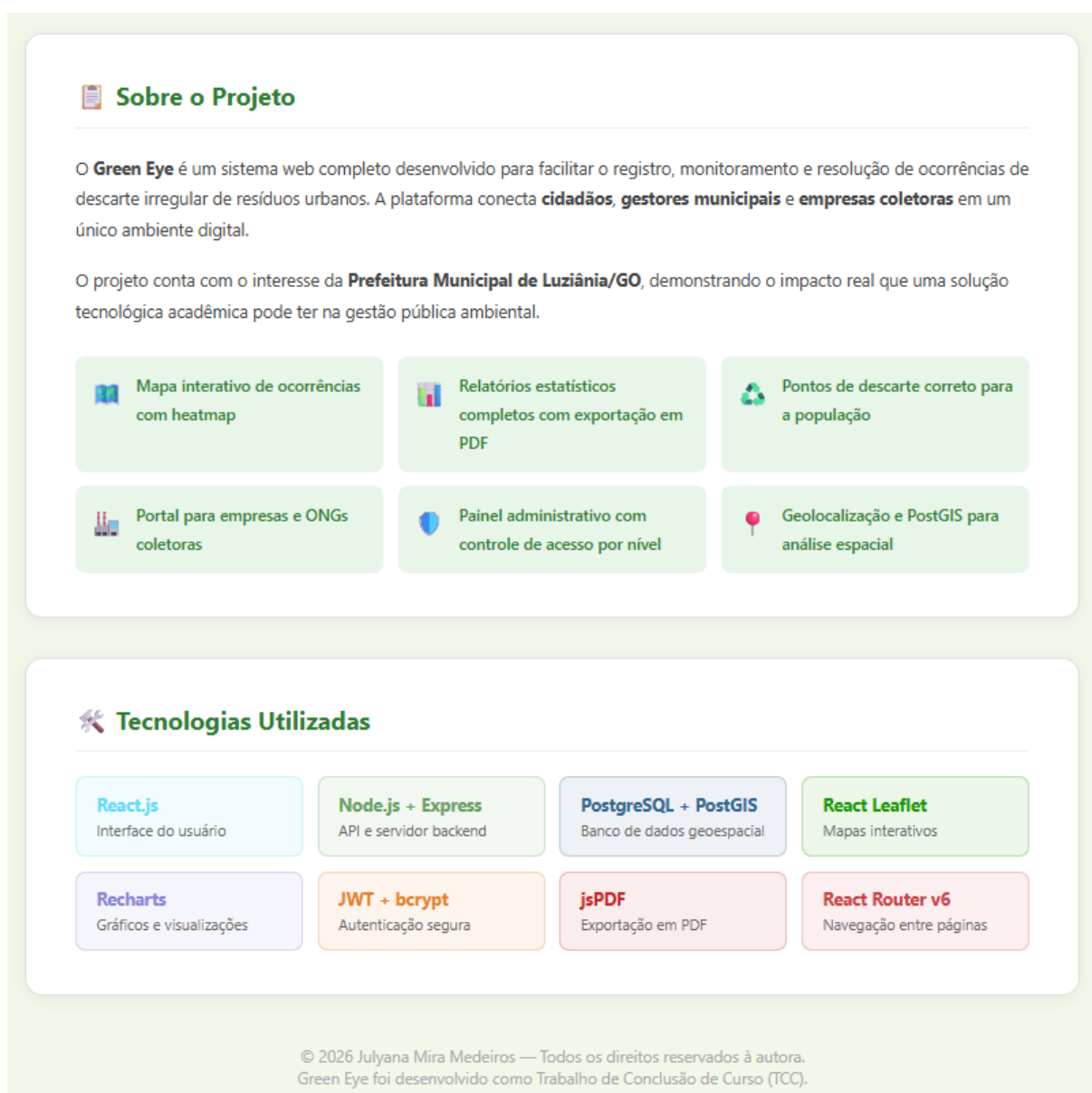


Figura 22 – Seção inferior da interface institucional “Sobre”, ilustrando esquematicamente o fluxo de funcionamento e a integração de atores no ecossistema “*GreenEye*”.
Fonte: O autor (2026).

- **Tela de Login do Gestor - Figura 23:** Uma tela de acesso simples e segura para o módulo administrativo.

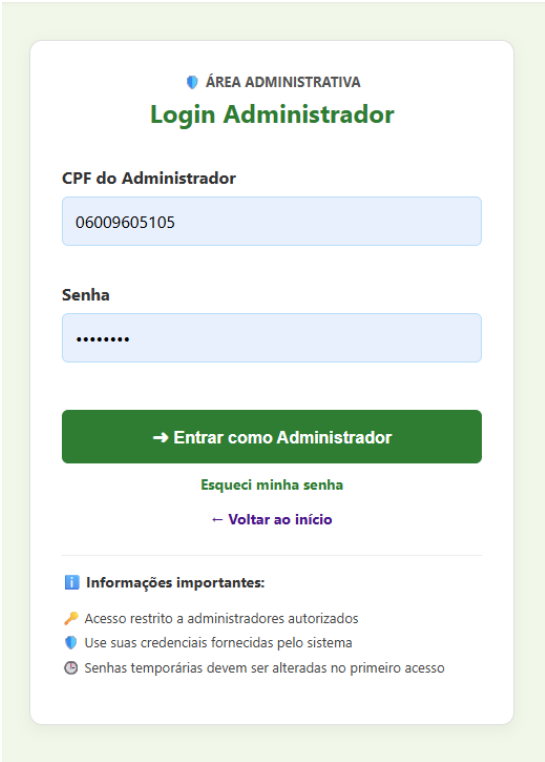


Figura 23 – Tela de Login do Módulo Administrativo (Gestor), com acesso restrito e instruções de segurança. Fonte: O autor (2026).

- **Painel do Gestor - Figura 24:** Após o login, o gestor visualiza o *dashboard* com gráficos e números chave. Uma tabela principal lista as ocorrências, permitindo ordenação, busca e a ação de clicar para ver detalhes e alterar o *status*. Ferramentas de análise, como “Gerar Mapa de Calor”, estão disponíveis em um menu dedicado.

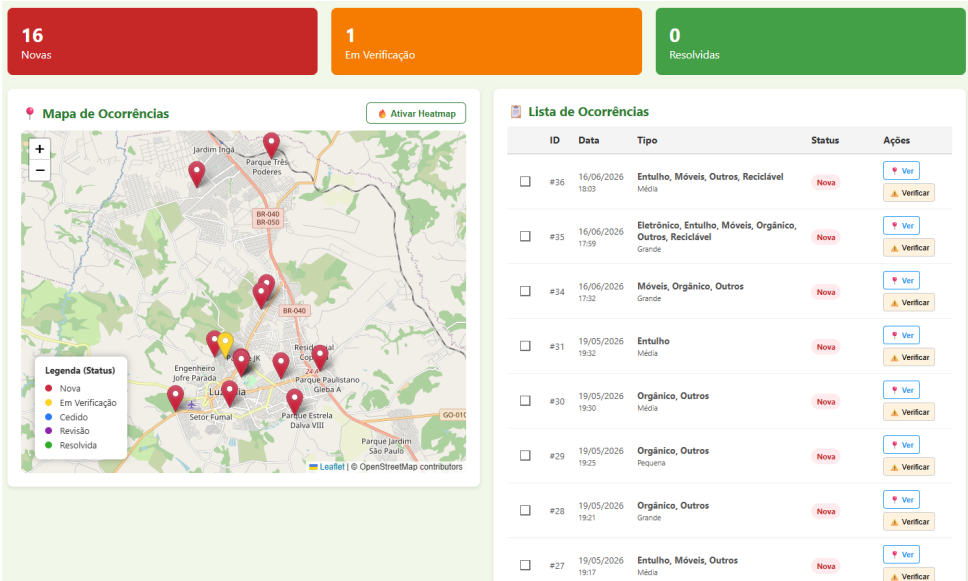


Figura 24 – Tela principal do Painel do Gestor (Dashboard), destinada à visualização de estatísticas e gerenciamento das ocorrências. Fonte: O autor (2026).

- **Módulo de Tutorial do Gestor - Figura 25:** Desenvolvido como uma seção de integração (*onboarding*) e suporte ao usuário administrativo. A interface apresenta um *layout* limpo focado na usabilidade, organizando instruções passo a passo sobre como operar as funcionalidades e divisões principais do painel, estruturadas nos blocos de *Dashboard*, *Reports* (Relatórios) e *Heatmap* (Mapa de Calor). O componente utiliza cartões informativos com ícones descritivos e textos explicativos diretos, reduzindo a curva de aprendizado dos novos gestores municipais e garantindo a conformidade com o requisito não funcional de facilidade de uso (RNF01).



Figura 25 – Interface do Módulo de Tutorial do Gestor, apresentando os cartões informativos e guias de suporte ao usuário. Fonte: O autor (2026).

- **Cadastro de Ocorrências pelo Gestor - Figura 26:** Esta tela replica as funcionalidades de mapeamento colaborativo do módulo público, mas é adaptada especificamente para que o agente público ou fiscal de campo registre focos de descarte irregular identificados *in loco*. A interface divide-se em duas seções: à esquerda, o mapa Leaflet integrado com a camada base do OpenStreetMap captura as coordenadas geográficas exatas por meio do clique do gestor; à direita, um formulário completo coleta os metadados da infração, incluindo o tipo de resíduo (`waste_type`), o nível de urgência, os problemas observados (`problems_observed`) e o campo para armazenamento binário da foto em formato *buffer* (`photo_content` do tipo `BYTEA`).

Figura 26 – Interface de cadastro do Módulo Administrativo, apresentando o formulário técnico e o mapa de georreferenciamento para o gestor. Fonte: O autor (2026).

- **Painel de Gestão de Pontos de Coleta - Figura 27 e 28:** Interface administrativa desenvolvida para o gerenciamento, inclusão e manutenção dos locais de descarte licenciado (ecopontos e cooperativas parceiras). A tela principal exibe uma tabela de gerenciamento que lista todos os pontos ativos no município, disponibilizando ações rápidas para edição e exclusão. Ao acionar a opção de inserção, o sistema renderiza um formulário de cadastro estruturado em primeiro plano, que permite ao gestor inserir o nome da instituição, o endereço completo e selecionar os tipos de materiais recicláveis aceitos pela unidade, garantindo a atualização contínua dos dados consumidos na interface pública.

 **Gestão de Pontos de Coleta**
Cadastre e gerencie os locais de descarte correto de resíduos.

[+ Novo Ponto](#)

Nome	Cidade	Endereço	Tipos	Status	Ações
Eco Resíduo Hospitalar	Brasília - DF	Saa Q 3 - SAAN	Hospitalar	Ativo	Editar Remover
Coopera Mais Brasil	Luziânia - GO	QUADRA 16 LOTE 04, RUA ANTONIO VIEIRA FILHO - St. Leste	Entulho Outros Móveis Pneus Reciclável Eletrônico Orgânico Lixo Doméstico	Ativo	Editar Remover
JR RECICLAGEM LUZIANIA	Luziânia - GO	Av. Perimental, 8 - Parque Alvorada III	Entulho Outros Pneus Móveis Reciclável	Ativo	Editar Remover
LexTec Reparos Notebook e Video Game	Luziânia - GO	R. José Roriz, Q. 15 - Lote A-2 - Alto das Caraíbas	Eletrônico Reciclável	Ativo	Editar Remover
Mais Logística Ambiental LTDA	Luziânia - GO	Fazenda Pôr do Sol Região Buracão, Chácaras Montana	Entulho Outros Móveis Reciclável	Ativo	Editar Remover
RECICLA FORTE	Luziânia - GO	R. 21, 10 - St. Norte	Reciclável Outros Entulho Móveis Pneus	Ativo	Editar Remover
Terra Viva Reciclagens de Resíduos	Luziânia - GO	R. Itaberai, 63 - São Caetano	Lixo Doméstico Móveis Outros Reciclável Entulho Orgânico	Ativo	Editar Remover
WTO Ambiental	Luziânia - GO	Distrito Industrial De Luziânia (DIAL - Via Secundária, 25 - Quadra 28, Modulos 17A - DIAL	Pneus Reciclável	Ativo	Editar Remover

Figura 27 – Interface de Gestão de Pontos de Coleta, exibindo a tabela administrativa de unidades ativas e opções de controle. O autor (2026).

+ Novo Ponto de Coleta

Nome *

Endereço *

Cidade *

Telefone

Horário de funcionamento

Ex: Seg a Sex, 8h às 17h

 Localização no mapa (clique para marcar)



Nenhum ponto selecionado.

Tipos de resíduo aceitos

 Eletrônico

 Orgânico

 Entulho

 Pneus

 Móveis

 Lixo Doméstico

 Hospitalar

 Reciclável

 Outros

Cancelar

Salvar

Figura 28 – Formulário de inclusão do Painel de Gestão de Pontos de Coleta, detalhando os campos de metadados e seleção de resíduos aceitos. O autor (2026).

- **Painel de Relatórios Gerenciais** - Figura 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 e 41: Esta interface fornece ao gestor ambiental ferramentas avançadas para a consolidação, análise visual e exportação dos dados operacionais coletados pela plataforma, servindo como um poderoso suporte para auditorias e tomadas de decisão

estratégica. Em vez de uma simples listagem estática, a interface estrutura-se como um painel analítico inteligente (*dashboard*) dividido em abas temáticas: “Visão Geral”, “Tempo”, “Resíduos”, “Empresas”, “Fluxo”, “Monitoramento”, “Unificações” e “Pontos de Descarte”. Cada seção combina cartões de indicadores-chave de desempenho (KPIs) reativos e gráficos dinâmicos de alta granularidade (de linhas, barras empilhadas e setores circulares). Para a exportação de dados em conformidade com os requisitos funcionais, a interface implementa de maneira destacada o botão “Exportar PDF” (alimentado pela biblioteca *jsPDF*), que renderiza um relatório analítico oficial formatado contendo o cabeçalho institucional e os gráficos gerenciais prontos para impressão ou distribuição governamental.

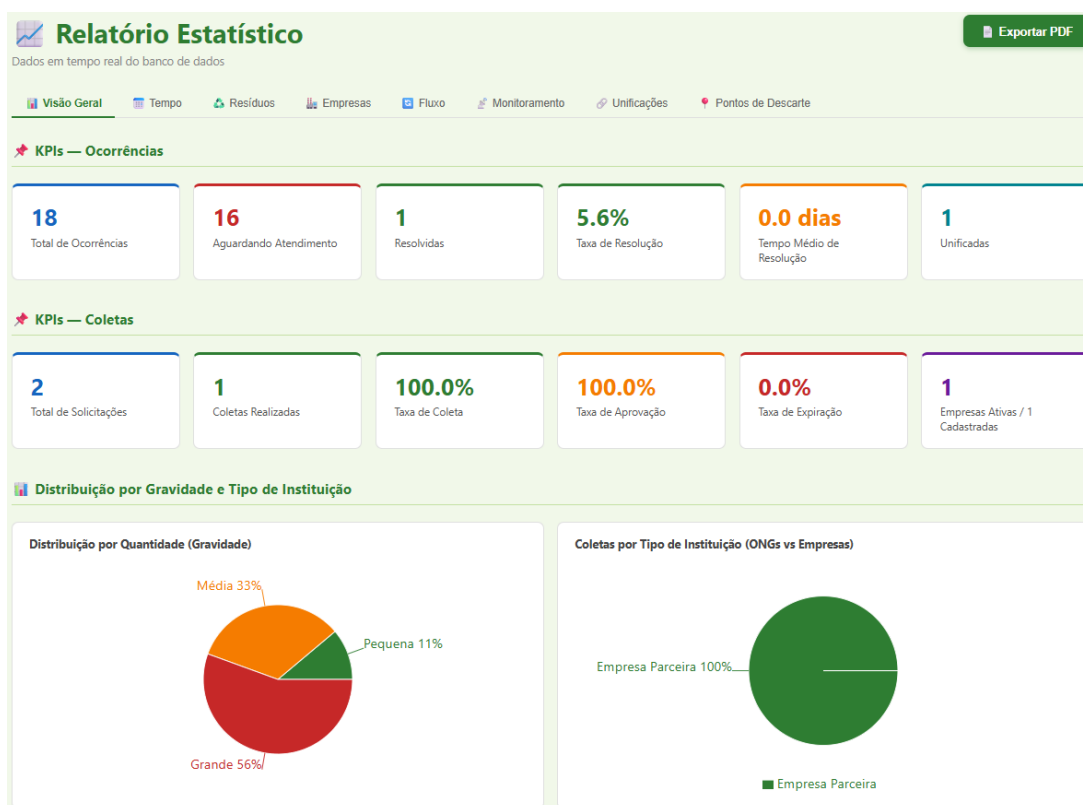


Figura 29 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Visão Geral”, destacando os cartões de KPIs operacionais e gráficos de distribuição por gravidade e instituição. Fonte: O autor (2026).

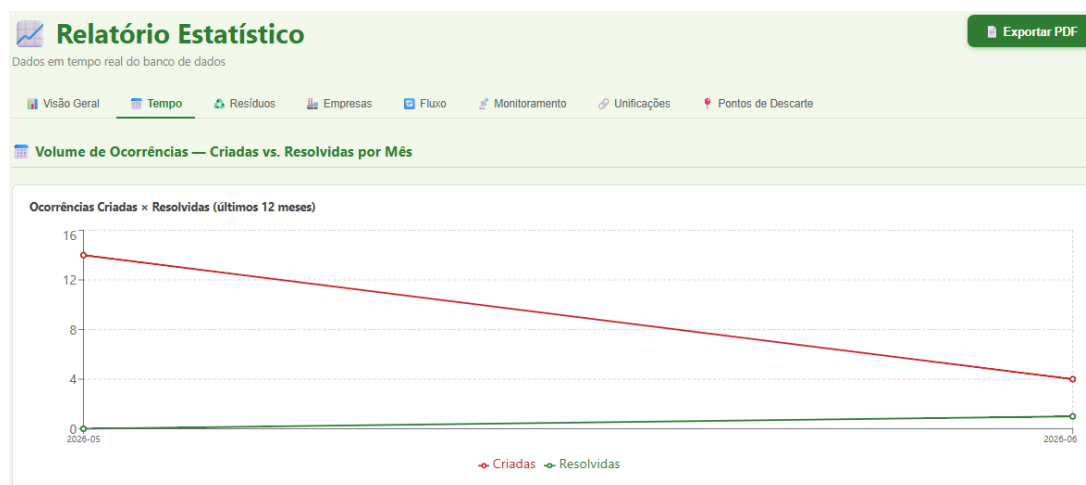


Figura 30 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Análise por Tempo”, exibindo o gráfico de linhas de ocorrências criadas versus resolvidas e o gráfico de barras empilhadas por status mensal. Fonte: O autor (2026).

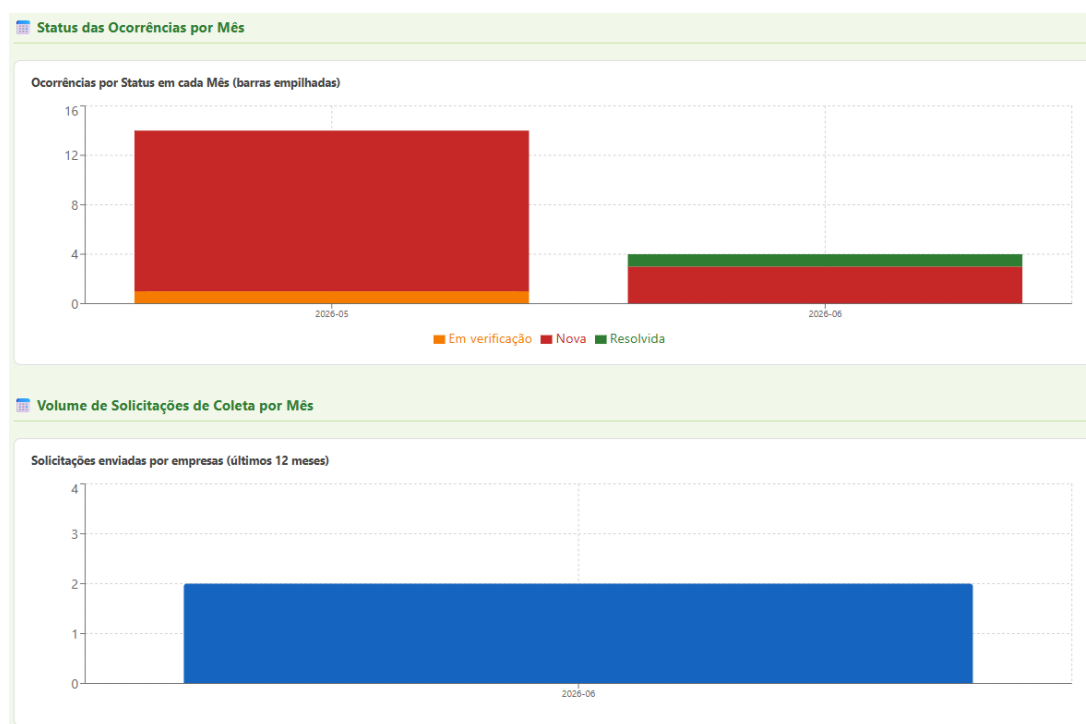


Figura 31 – Seção complementar da aba de “Análise por Tempo”, apresentando o detalhamento de status mensais e o gráfico descritivo de solicitações de coleta corporativas. Fonte: O autor (2026).

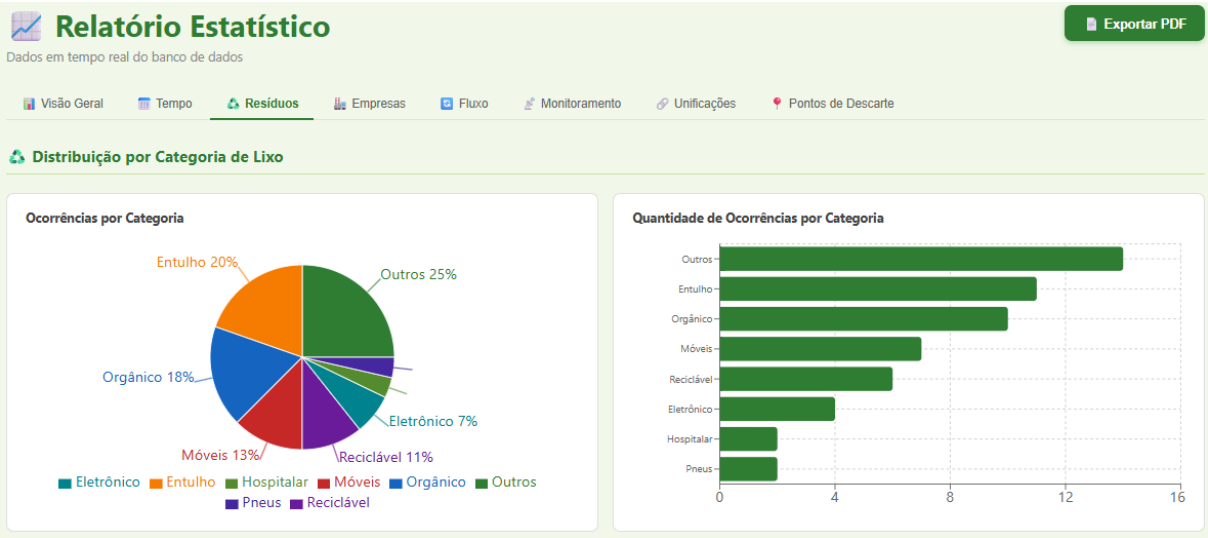


Figura 32 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Resíduos”, exibindo os gráficos de distribuição por categoria e a relação de volume por gravidade. Fonte: O autor (2026).

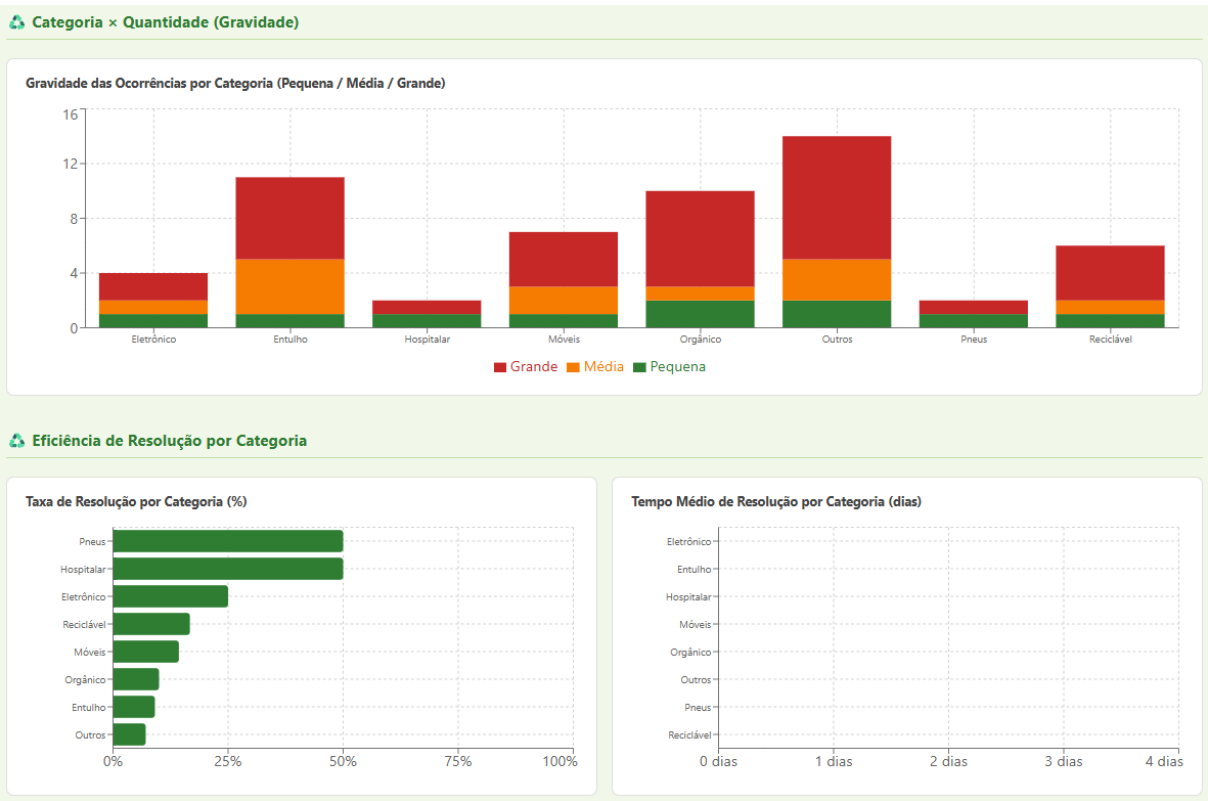


Figura 33 – Seção complementar da aba de “Resíduos”, destacando os gráficos de taxa de resolução percentual e tempo médio de atendimento por categoria. Fonte: O autor (2026).

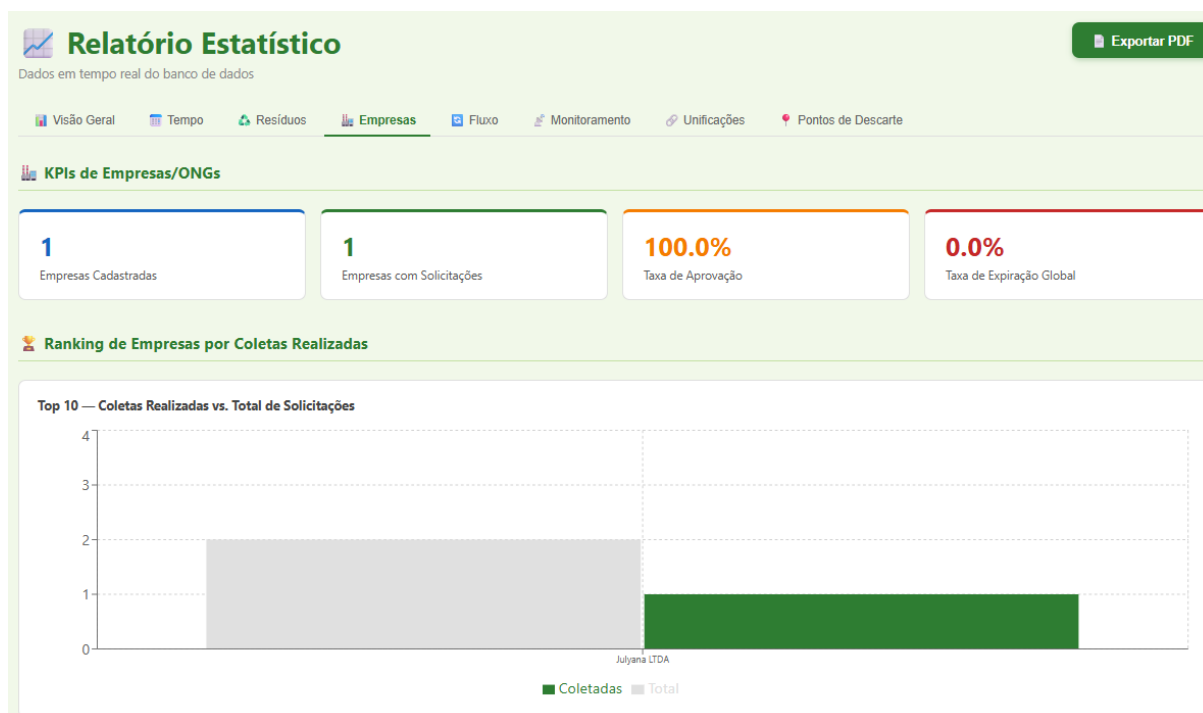


Figura 34 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Empresas”, exibindo os cartões de KPIs corporativos e os gráficos de ranking de coletas efetuadas. Fonte: O autor (2026).

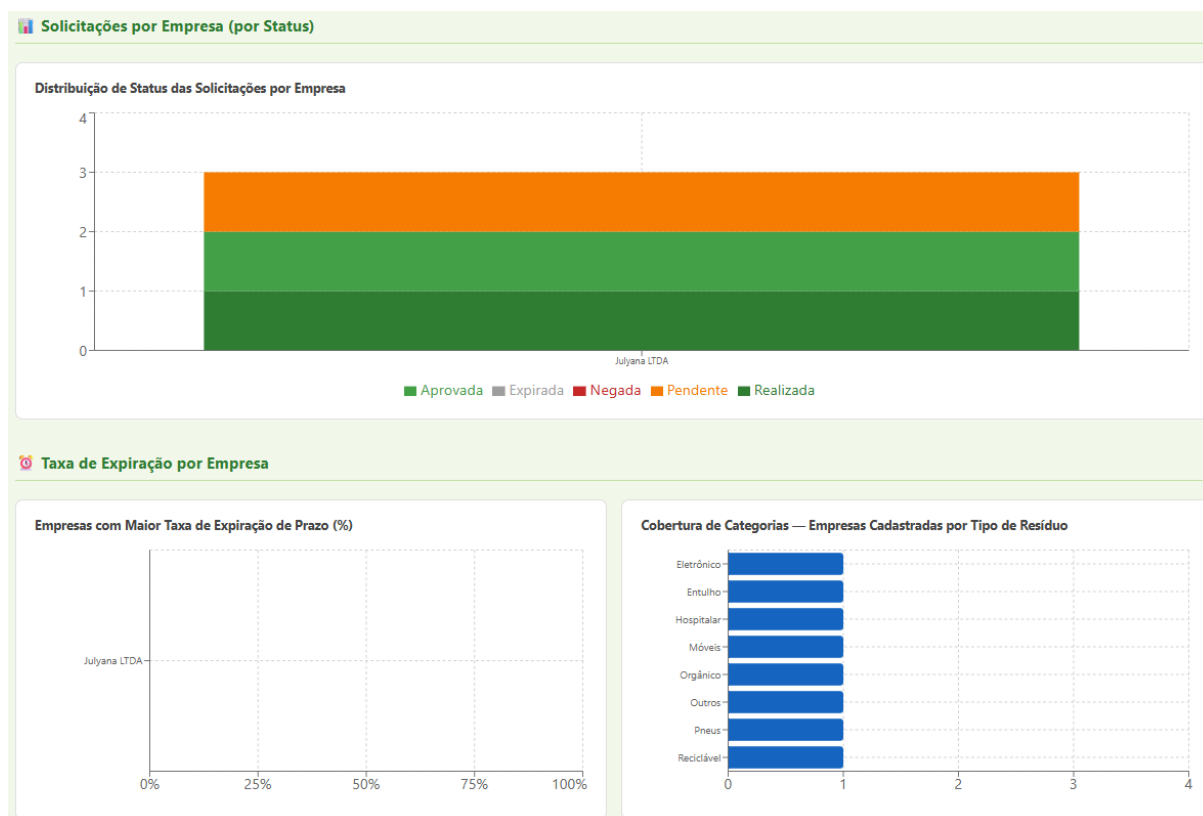


Figura 35 – Seção complementar da aba de “Empresas”, destacando a distribuição de status das solicitações corporativas e a cobertura de categorias de resíduos homologadas. Fonte: O autor (2026).

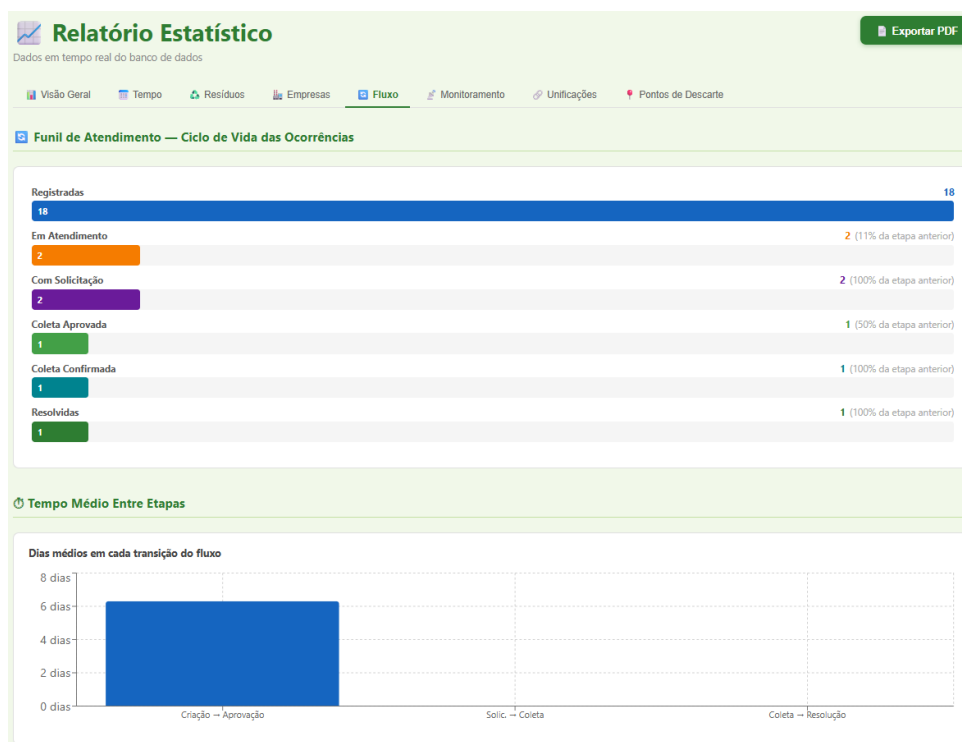


Figura 36 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Fluxo”, apresentando o funil de conversão do ciclo de vida das ocorrências e as métricas de tempo médio entre transições. Fonte: O autor (2026).

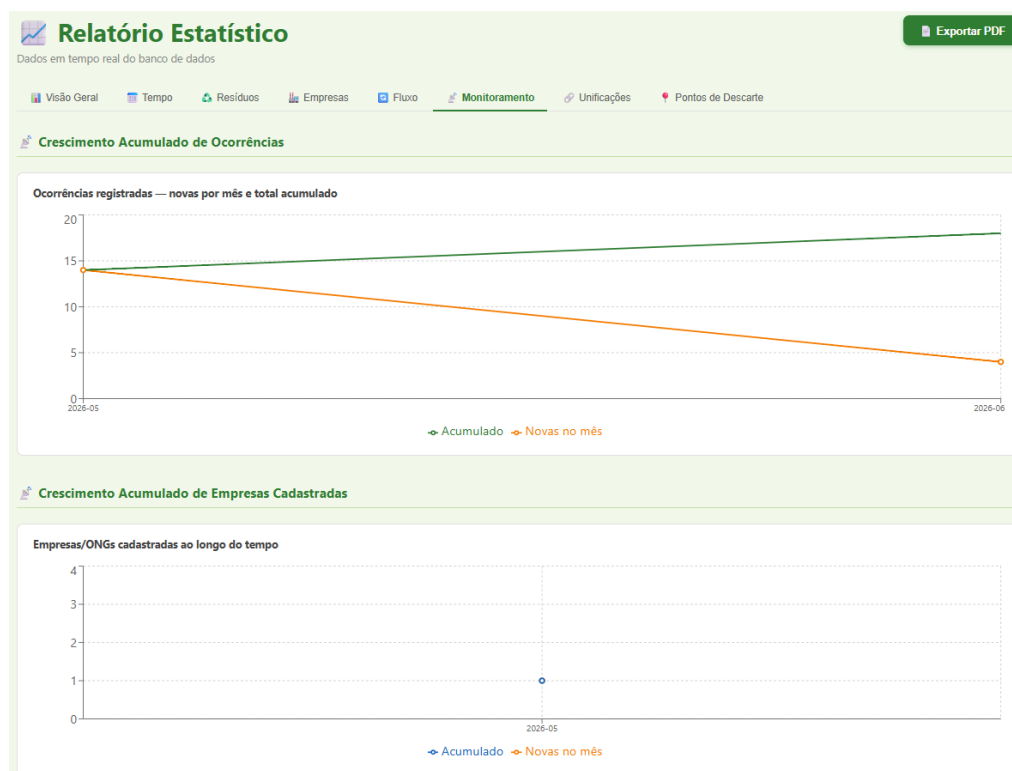


Figura 37 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Monitoramento”, exibindo os gráficos de crescimento acumulado de ocorrências e de empresas parceiras. Fonte: O autor (2026).

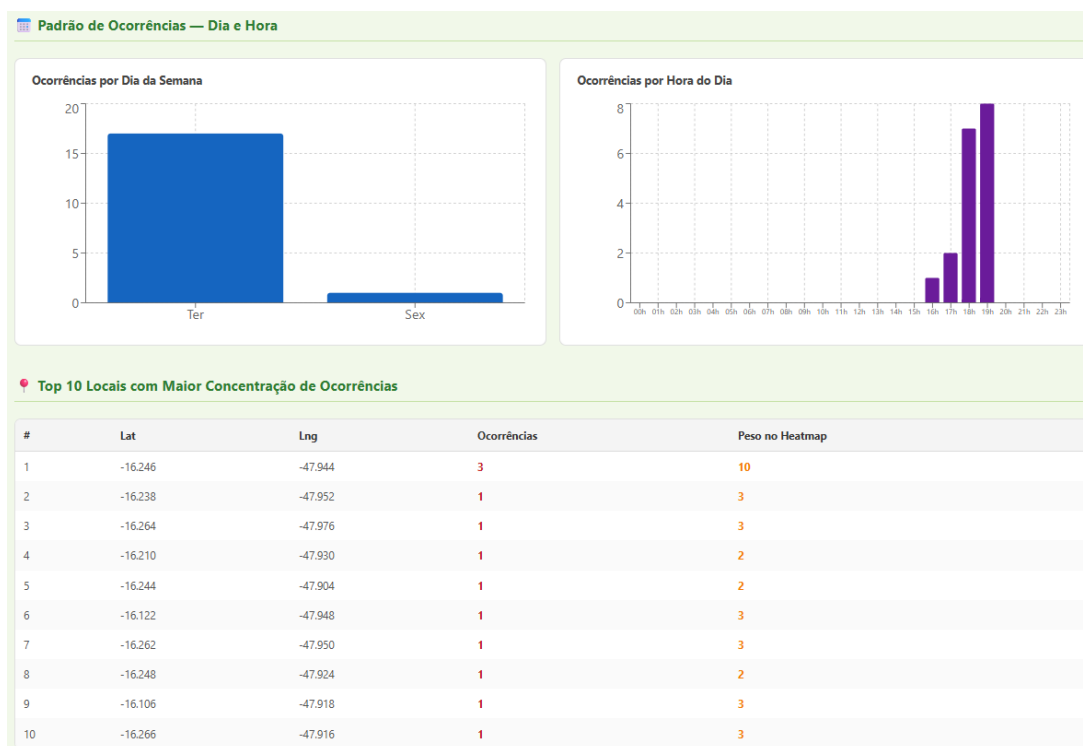


Figura 38 – Seção complementar da aba de “Monitoramento”, apresentando os gráficos de padrão temporal por dia e hora e a tabela de concentração de focos críticos para o “heatmap”. Fonte: O autor (2026).

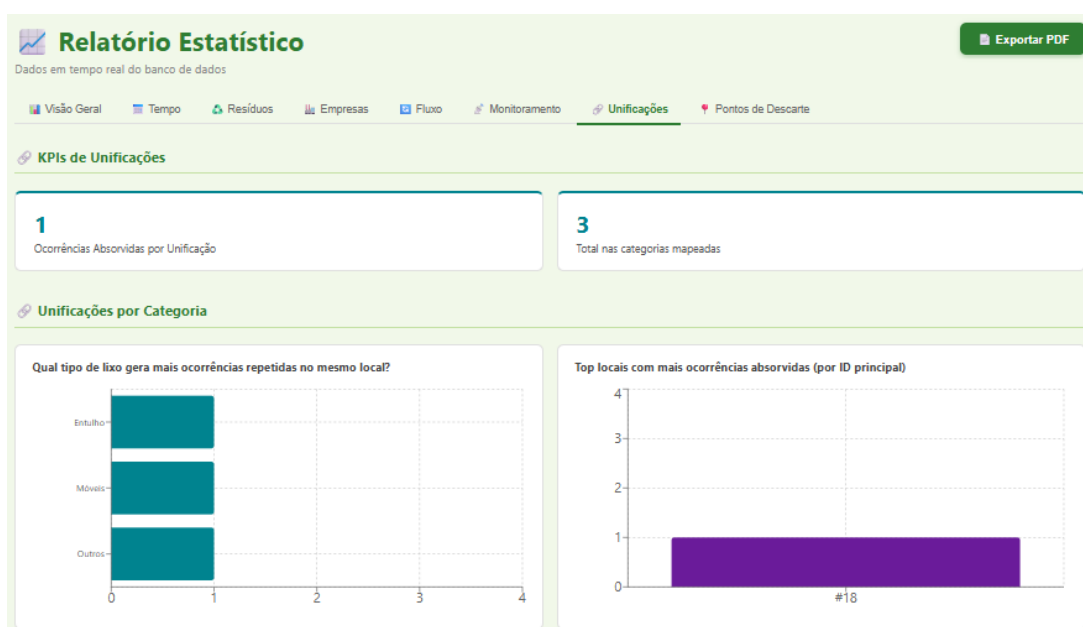


Figura 39 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Unificações”, apresentando as métricas de controle de duplicidades e o painel analítico de ocorrências repetidas por categoria. Fonte: O autor (2026).

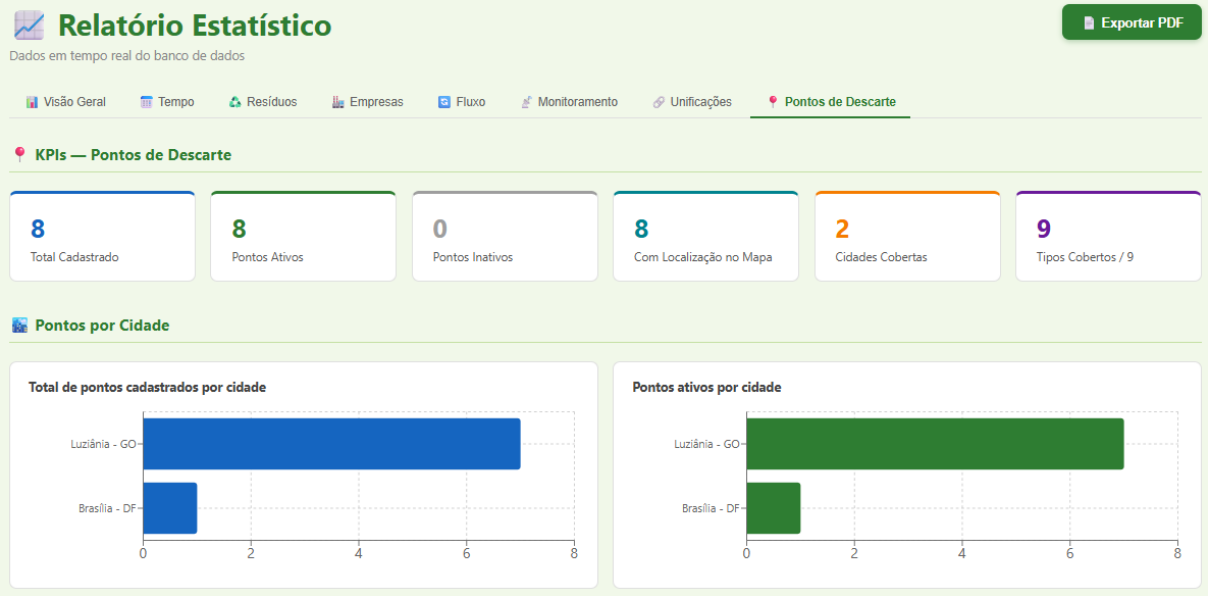


Figura 40 – Interface do Relatório Estatístico na aba de “Pontos de Descarte”, exibindo os cartões de KPIs de cobertura regional e os gráficos de distribuição por cidade. Fonte: O autor (2026).

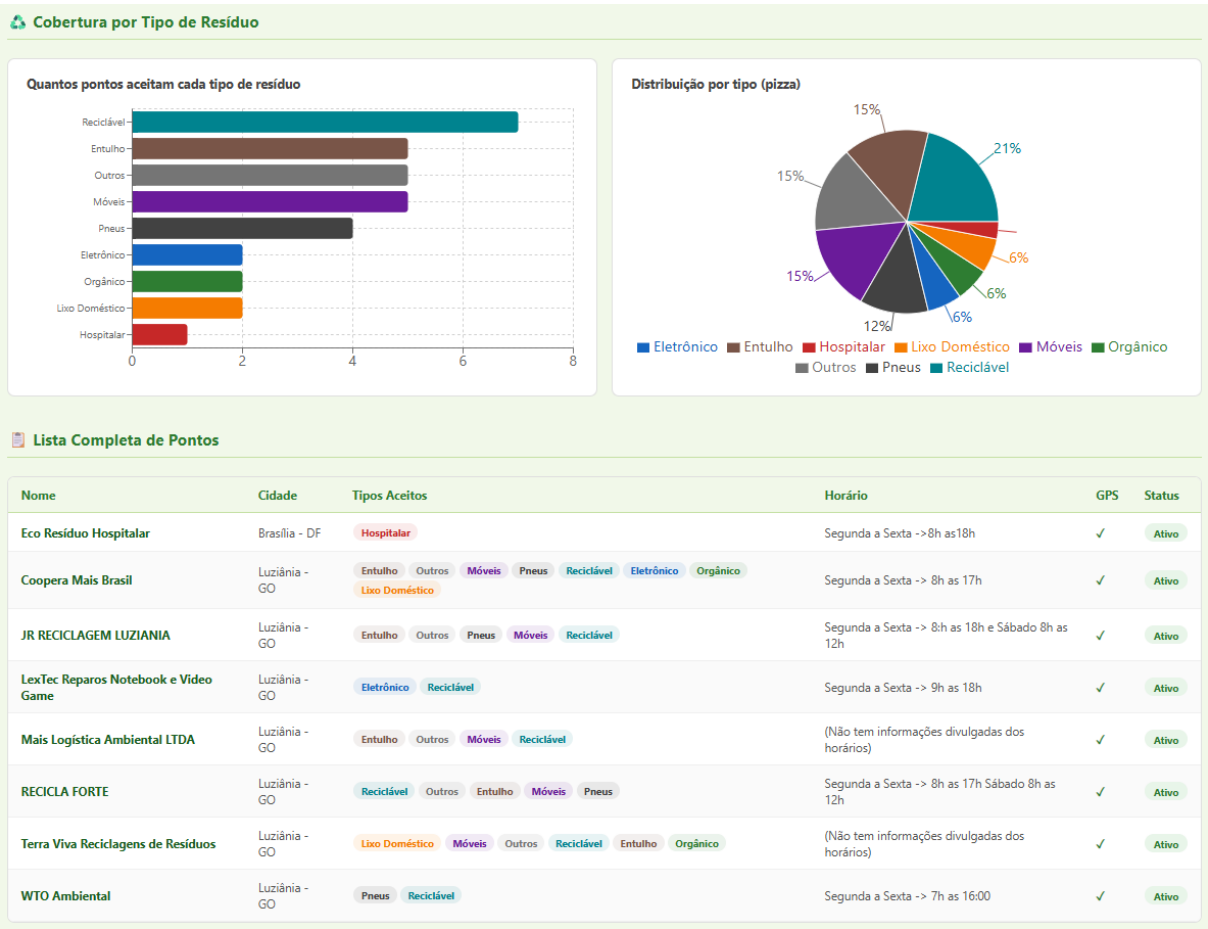


Figura 41 – Seção complementar da aba de “Pontos de Descarte”, destacando a análise quantitativa de cobertura por tipo de resíduo e a tabela analítica de unidades cadastradas. Fonte: O autor (2026).

- **Histórico de Ocorrências do Gestor - Figura 42:** Esta interface é dedicada à auditoria interna e ao rastreamento das atividades operacionais realizadas pelos administradores do sistema. A tela exibe registros cronológicos estruturados em formato tabular contendo o histórico de interações sobre as ocorrências, detalhando modificações cruciais como as alterações de *status* operacionais (por exemplo, a transição para o estado de “Resolvida”) e atualizações cadastrais que ocorreram durante o ciclo de vida do registro ambiental.

Histórico de Ocorrências Resolvidas

1 ocorrência(s) resolvida(s)

Buscar por ID, tipo, descrição...

ID	Tipo	Quantidade	Resolvida em	Coletas
#32	Eletrônico, Entulho, Hospitalar, Móveis, Orgânico, Outros, Pneus, Reciclável	Pequena	05/06/2026	☒ Julyana LTDA <button>Ver</button>

Ocorrência #32

Tipo: Eletrônico, Entulho, Hospitalar, Móveis, Orgânico, Outros, Pneus, Reciclável

Quantidade: Pequena

Registrada em: 05/06/2026

Resolvida em: 05/06/2026

Descrição: TESTE

Problemas: poluição

Coordenadas: -16.23696, -47.93321

Ciclo de Coletas

Julyana LTDA Revisada

Solicitado em 05/06/2026 · Prazo: 12/06/2026 · Coletado em 05/06/2026

Figura 42 – Interface de Histórico de Ocorrências do Módulo Administrativo, apresentando os registros cronológicos e logs de auditoria do sistema. Fonte: O autor (2026).

- **Gerenciamento de Gestores - Figura 43:** Esta funcionalidade, restrita ao nível de acesso administrativo superior, permite o controle e a expansão da equipe de monitoramento do sistema. A interface apresenta uma listagem central dos administradores cadastrados e um botão de destaque “+ Novo Gestor” no topo da página. Ao acioná-lo, é exibido um formulário em formato *modal* intitulado “Criar Novo Gestor”, que solicita informações essenciais para a segurança e identificação: o e-mail institucional do colaborador, o CPF (utilizando máscara de validação) e a definição do Nível de Acesso através de um campo de seleção (*dropdown*), permitindo distinguir entre perfis como “Gestor comum” ou administradores com privilégios ampliados. O processo é finalizado por meio de um botão de confirmação destacado em verde com o texto “Criar Gestor”, garantindo que apenas pessoal autorizado possa interagir com os dados sensíveis de ocorrências e análises espaciais.

A interface de usuário para o cadastro de um gestor. No topo, há o título "Gerenciamento de Gestores" e o nome de usuário logado "Logado como: julyanamira@gmail.com". Um botão "+ Novo Gestor" está no canto superior direito. O corpo da tela exibe a mensagem "Nenhum gestor cadastrado ainda." e um formulário centralizado para "Criar Novo Gestor". O formulário contém campos para "Email" (preenchido com "gestor@email.com"), "CPF" (preenchido com "000.000.000-00") e "Nível de Acesso" (menu suspenso com "Gestor comum" selecionado). No final do formulário, há dois botões: "Criar Gestor" (verde) e "Cancelar" (cinza).

Figura 43 – Tela de Cadastro do Módulo Administrativo (Gestor). Fonte: O autor (2026).

- **Tela de Cadastro de Empresa - Figura 44:** Uma tela de acesso simples e segura para o módulo corporativo.

A interface de usuário para o cadastro de uma empresa ou ONG. No topo, há o título "PROGRAMA DE PARCEIROS" e "Cadastro de Empresa". O formulário contém campos para "Nome Fantasia / Razão Social", "CNPJ" (preenchido com "00.000.000/0001-00"), "Responsável", "Telefone" e "E-mail de Contato". Abaixo, há um campo "Senha de Acesso" e uma opção "Somos uma ONG (Entidade sem fins lucrativos)". Uma seção intitulada "O que sua empresa coleta? (Selecione todas as desejadas)" contém botões para "Elettrônico", "Entulho", "Hospitalar", "Móveis", "Orgânico", "Outros", "Pneus" e "Reciclável". No final, há um botão verde "Finalizar Cadastro de Parceiro" e links para "Já é parceiro? Clique aqui!" e "Voltar ao início".

Figura 44 – Tela de Cadastro do Módulo Corporativo (Empresa/ONG). Fonte: O autor (2026).

- **Tela de Login de Empresa - Figura 45:** Uma tela de acesso simples e segura para o módulo corporativo.

PORTAL DO PARCEIRO

Login Empresa

CNPJ da Empresa

06009605105

Senha

.....

→ Entrar no Painel da Empresa

Ainda não é parceiro? Cadastre-se aqui!

Esqueci minha senha

← Voltar ao início

i Instruções de acesso:

- Visualize ocorrências de acordo com sua especialidade
- Gerencie o status das coletas em Luziânia [cite: 106, 695]
- Mantenha suas credenciais em segurança

Figura 45 – Tela de Login do Módulo Corporativo (Empresa/ONG), com acesso restrito e instruções de segurança. Fonte: O autor (2026).

- **Painel Corporativo (Empresa/ONG - Figura 46):** Esta interface é dedicada às instituições parceiras e foi projetada para facilitar o gerenciamento de coletas de resíduos compatíveis com a atividade de cada entidade. No topo, o dashboard exibe *cards* informativos de resumo, indicando o número de materiais compatíveis disponíveis e o perfil da instituição logada. A visualização é dividida em duas colunas funcionais:

- **Mapa de Coletas Disponíveis:** Localizado à esquerda, utiliza um mapa interativo *Leaflet* para georreferenciar os pontos de descarte. Uma legenda específica auxilia na identificação do *status* das ocorrências, diferenciando entre pontos “Disponíveis”, “Aguardando aprovação” e coletas já com *status* “Aprovado”.
- **Materiais para Coleta:** À direita, uma listagem tabular detalha os tipos de resíduos encontrados (como Eletrônico, Entulho, Hospitalar, entre outros), a quantidade estimada e a data do registro. Para cada item, a empresa possui opções de ação imediata: o botão “Ver”, para localizar o ponto no mapa, e o botão de destaque em verde “Solicitar Coleta”, que inicia o processo de logística para o recolhimento do material.

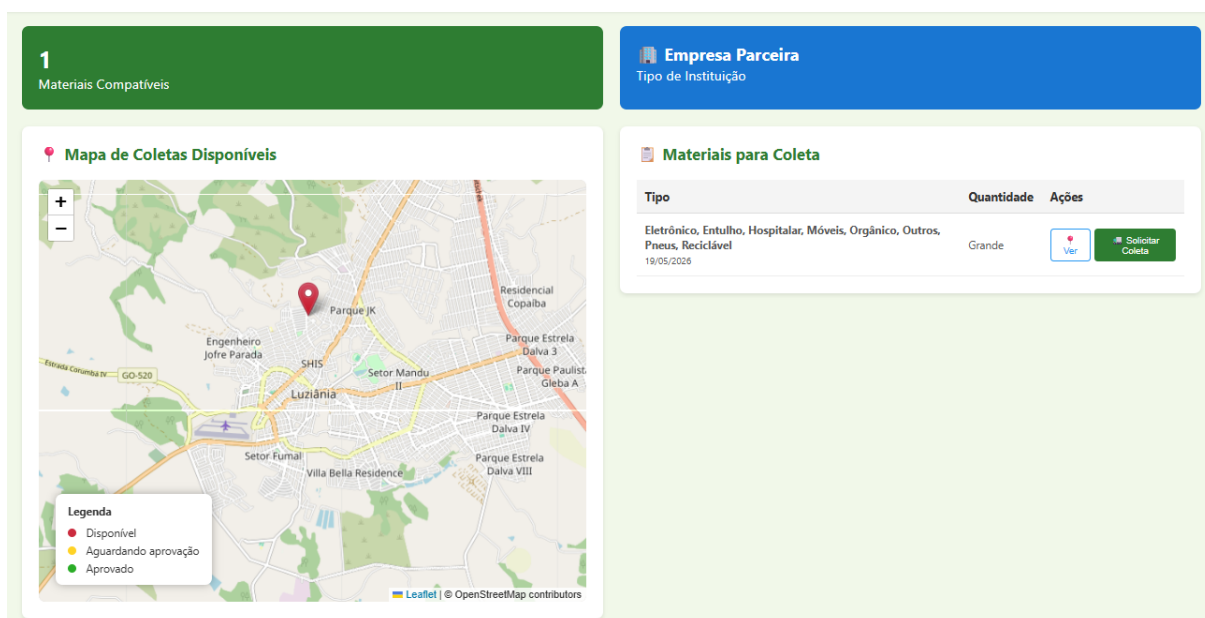


Figura 46 – Tela principal do Painel Corporativo (Empresa/ONG), destinada à visualização e gerenciamento das solicitações de coletas. Fonte: O autor (2026).

- **Módulo de Tutorial de Empresas Parceiras - Figura 47:** Desenvolvido como uma seção de integração (*onboarding*) e suporte destinada aos usuários do perfil **empresa/ONG**. O módulo tem como objetivo facilitar a adaptação de novos parceiros à plataforma, fornecendo orientações claras sobre as principais funcionalidades disponíveis e sobre o fluxo operacional esperado durante o atendimento das ocorrências. A interface foi projetada com foco na usabilidade e na acessibilidade, empregando um *layout* organizado em etapas sequenciais que apresentam, de forma visual e intuitiva, os procedimentos necessários para solicitar coletas, gerenciar atendimentos e acompanhar o status das ocorrências associadas à organização.

Para reduzir a curva de aprendizado dos usuários, foram utilizados cartões informativos com ícones, títulos objetivos e descrições sucintas, permitindo a rápida

compreensão das funcionalidades sem necessidade de treinamento prévio. O conteúdo foi estruturado em linguagem simples e direta, priorizando a clareza das informações e minimizando dúvidas durante a utilização do sistema.

A implementação desse módulo visa facilitar a adesão de empresas e organizações parceiras à plataforma, contribuindo para a correta execução dos processos de coleta e atendimento. Além de atuar como ferramenta de suporte, o tutorial auxilia na padronização dos procedimentos operacionais e contribui para o atendimento do requisito de facilidade de uso (**RNF01**), promovendo uma experiência mais intuitiva e reduzindo a ocorrência de erros durante a utilização do sistema.

Figura 47 – Interface do Módulo de Tutorial de Empresas Parceiras, apresentando os guias visuais e instruções de suporte ao usuário corporativo. Fonte: O autor (2026).

- **Histórico de Coletas da Empresa/ONG - Figura 48:** Esta interface é dedicada ao acompanhamento cronológico e ao controle operacional das solicitações de recolhimento realizadas pela instituição parceira. A tela apresenta uma estrutura tabular organizada que lista todas as coletas vinculadas ao perfil corporativo, exibindo informações relevantes como o identificador da coleta, a descrição do ponto, o tipo de resíduo (`waste_type`), a quantidade estimada (`quantity_estimated`) e o *status* atual do processo. Essa organização permite que a empresa acompanhe facilmente o andamento de suas solicitações, desde a etapa inicial de análise até a conclusão do atendimento.

Para cada registro, o painel disponibiliza ações rápidas que auxiliam na gestão das coletas. O botão “Ver” possibilita a visualização da localização exata da ocorrência no mapa interativo, facilitando o planejamento logístico das equipes responsáveis pelo recolhimento. Além disso, a interface permite a atualização dos estados da coleta conforme sua evolução, garantindo que as informações permaneçam sincronizadas entre empresas, gestores e demais usuários envolvidos no processo.

A centralização dessas informações em um único painel contribui para a rastreabilidade das atividades executadas, aumenta a transparência do fluxo de atendimento e fornece um histórico consultável das operações realizadas. Dessa forma, o módulo auxilia tanto no gerenciamento interno das organizações parceiras quanto no acompanhamento das ações de coleta vinculadas ao sistema “GreenEye”.

Histórico de Solicitações

1 solicitação(ões) no total

1 Pendente

null

Ocorrência	Tipo de Lixo	Quantidade	Solicitado em	Status	
#26	Eletrônico, Entulho, Hospitalar, Móveis, Orgânico, Outros, Pneus, Reciclável	Grande	05/06/2026	Pendente	Ver

Ocorrência #26

Solicitação: Pendente

Tipo de Lixo:
Eletrônico, Entulho, Hospitalar, Móveis, Orgânico, Outros, Pneus, Reciclável

Quantidade:
Grande

Ocorrência registrada em:
19/05/2026

Solicitação enviada em:
05/06/2026

Descrição:
Rua vicinal dentro do bairro Norte maravilha, ainda falta asfalto para completar a rua e pelo pouco movimento as pessoas do próprio bairro e de outros bairros descartam lixo residencial e entulho quase que diariamente.

Problemas:
Poluição

Status da Ocorrência:
Em verificação

Figura 48 – Interface de Histórico de Solicitações do Painel Corporativo, exibindo a tabela de controle e rastreamento de coletas logísticas. Fonte: O autor (2026).

Ao longo deste capítulo foram apresentados os principais aspectos relacionados à implementação do sistema “*GreenEye*”, abrangendo sua arquitetura, tecnologias empregadas, modelagem dos dados e funcionalidades desenvolvidas. A solução foi construída com uma abordagem baseada em WebSIG, integrando recursos de georreferenciamento, análise espacial e gerenciamento de ocorrências de descarte irregular em uma única plataforma acessível por diferentes perfis de usuários.

Também foram descritos os módulos que compõem o sistema, incluindo as funcionalidades destinadas aos cidadãos, gestores públicos, empresas ou organizações coletoras e administradores da plataforma. A implementação dos mecanismos de autenticação, controle de acesso, registro de ocorrências, gerenciamento de coletas e geração de relatórios permitiu validar os requisitos funcionais definidos durante a etapa de especificação da solução.

Adicionalmente, foram apresentados os recursos de análise espacial desenvolvidos com o auxílio do *PostGIS* e da biblioteca Leaflet, responsáveis pela geração de mapas interativos, mapas de calor e indicadores territoriais. Esses componentes ampliam a capacidade de monitoramento das ocorrências registradas, fornecendo informações que podem subsidiar processos de fiscalização, planejamento urbano e tomada de decisão por parte dos gestores responsáveis.

Por fim, a arquitetura implementada estabeleceu a base necessária para a realização dos testes e da validação funcional do sistema. Dessa forma, o capítulo seguinte apresenta os resultados obtidos durante a utilização da plataforma, analisando o comportamento das funcionalidades desenvolvidas, os dados coletados e as contribuições do “*GreenEye*” para o monitoramento e gestão do descarte irregular de resíduos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com a implementação e validação funcional do sistema “*GreenEye*”. Dado que o sistema se encontra em fase inicial de operação, sem parceiros institucionais formalizados junto à Prefeitura Municipal ou empresas de coleta cadastradas até o momento da escrita deste relatório, os resultados aqui apresentados referem-se à validação técnica da plataforma por meio de um conjunto de ocorrências piloto. As ocorrências utilizadas na validação foram, em sua maioria, inseridas pela própria autora por meio da interface do GreenEye, com finalidade de validação técnica das funcionalidades. Uma ocorrência foi registrada por um respondente externo por meio do formulário público da plataforma. Cabe destacar que o sistema não impõe restrição geográfica ao registro de ocorrências, aceitando ocorrências de qualquer localidade do território nacional.

5.1 Validação Funcional e Dados Coletados

A fase de validação do sistema foi conduzida com o registro de **18 ocorrências de descarte irregular** georreferenciadas em diferentes localidades, inseridas para cobrir as principais categorias de resíduo previstas no sistema e verificar o comportamento de cada módulo. O relatório estatístico completo, gerado automaticamente pelo próprio sistema em 19 de maio de 2026, é apresentado como evidência da operacionalidade da plataforma.

Diferentemente da etapa inicial de validação, na qual as ocorrências encontravam-se exclusivamente em estado de análise, a base atual apresenta registros distribuídos em diferentes etapas do ciclo de vida do atendimento, incluindo ocorrências em atendimento, solicitações de coleta aprovadas e uma ocorrência efetivamente resolvida. Esse cenário permitiu validar não apenas os mecanismos de registro e monitoramento, mas também parte do fluxo operacional proposto para a plataforma.

O relatório estatístico completo, gerado automaticamente pelo próprio sistema em 16 de junho de 2026, é apresentado como evidência da operacionalidade da solução. A Tabela 1 sintetiza os principais indicadores extraídos do relatório.

Tabela 1 – KPIs de Ocorrências de Descarte Irregular — Validação Funcional (junho/2026)

Indicador	Valor
Total de ocorrências registradas	18
Ocorrências aguardando atendimento	16
Ocorrências resolvidas	1
Taxa de resolução	5,6%
Ocorrências unificadas (merge)	1
Empresas/ONGs cadastradas	1
Solicitações de coleta	2
Coletas efetivamente realizadas	1

Os indicadores demonstram uma evolução em relação à fase piloto inicial. Ressalta-se que a empresa cadastrada durante a fase de validação foi criada exclusivamente para fins de teste e homologação da plataforma, não correspondendo a uma parceria institucional formalizada. Sua utilização permitiu simular o fluxo operacional previsto pelo sistema, incluindo o recebimento de solicitações de coleta, a aprovação de atendimentos e a confirmação de ocorrências resolvidas. Essa abordagem possibilitou validar integralmente as funcionalidades destinadas ao perfil **empresa/ONG**, mesmo na ausência de organizações parceiras efetivamente integradas à plataforma durante o período de desenvolvimento deste trabalho.

A existência de uma ocorrência registrada com status “Resolvida” e de uma coleta efetivamente registrada permitiu verificar o funcionamento do fluxo de atendimento implementado pelo sistema. Para fins de validação, a organização responsável pela coleta foi criada exclusivamente no ambiente de testes, de modo que a ocorrência resolvida representa a conclusão do fluxo operacional registrado no GreenEye, e não uma comprovação de operação institucional em ambiente real. Da mesma forma, a presença de uma ocorrência unificada permitiu verificar o funcionamento do mecanismo desenvolvido para o tratamento de registros duplicados, contribuindo para a organização e consistência das informações armazenadas.

A diversidade de categorias registradas permitiu validar o sistema de classificação múltipla de resíduos, no qual uma mesma ocorrência pode estar associada simultaneamente a mais de uma categoria. Esse comportamento é particularmente relevante em cenários reais, onde um ponto de descarte irregular frequentemente contém diferentes tipos de materiais descartados conjuntamente.

A Tabela 1 contabiliza ocorrências distintas registradas no sistema, enquanto a Tabela 2 contabiliza os vínculos entre ocorrências e categorias de resíduos. Como uma ocorrência pode possuir mais de uma categoria de resíduo associada, o número total de vínculos apresentado na Tabela 2 é superior ao número de ocorrências da Tabela 1. A distribuição por categoria é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição das Ocorrências por Categoria de Resíduo

Categoria	Vínculos ocorrência-categoria	Participação
Outros	14	25,0%
Entulho	11	19,6%
Orgânico	10	17,9%
Móveis	7	12,5%
Reciclável	6	10,7%
Eletrônico	4	7,1%
Hospitalar	2	3,6%
Pneus	2	3,6%
Total de vínculos	56	100%

Observa-se que as categorias “Outros”, “Entulho” e “Orgânico” concentram aproximadamente 62,5% de todos os vínculos categoria-ocorrência registrados. Esse comportamento é consistente com o perfil frequentemente observado em áreas urbanas brasileiras, onde resíduos domiciliares, restos orgânicos e resíduos provenientes da construção civil figuram entre os principais tipos de descarte irregular ([ARANTES; PEREIRA, 2021](#)).

A elevada incidência de resíduos classificados como “Outros” também evidencia a diversidade de materiais encontrados nos pontos de descarte, indicando a necessidade de mecanismos flexíveis de classificação que permitam registrar situações não contempladas pelas categorias convencionais. Já a presença de resíduos eletrônicos, pneus e resíduos hospitalares demonstra a capacidade do sistema de identificar descartes potencialmente mais críticos do ponto de vista ambiental e sanitário, uma vez que esses materiais estão sujeitos a procedimentos específicos de destinação e logística reversa previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

A Figura 49 apresenta os gráficos de distribuição por categoria e de gravidade gerados automaticamente pelo painel analítico do sistema.

O gráfico de pizza evidencia a distribuição percentual das categorias cadastradas, permitindo identificar rapidamente os tipos de resíduos predominantes. Já o gráfico de barras horizontais apresenta as quantidades absolutas por categoria, facilitando a comparação direta entre os diferentes tipos de descarte registrados.

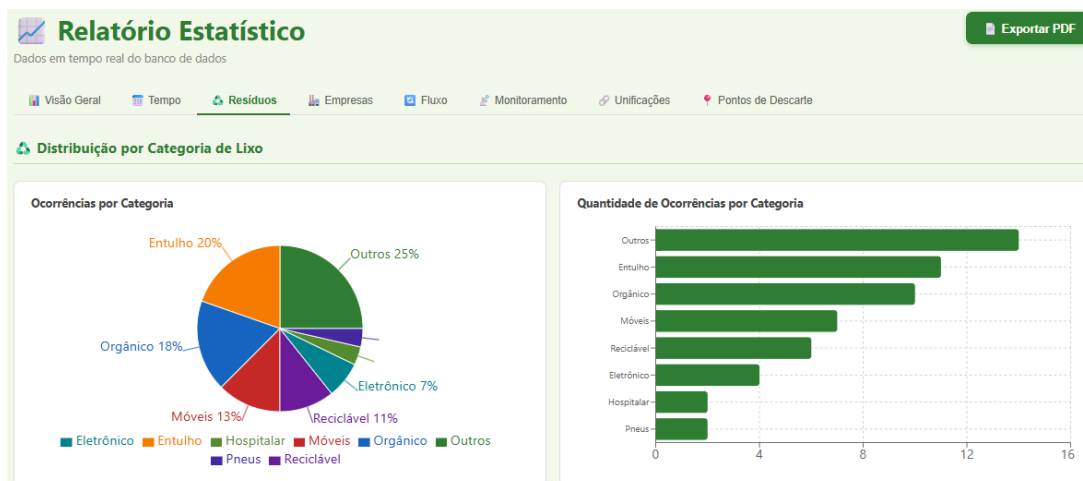


Figura 49 – Distribuição por categoria de resíduo e gravidade das ocorrências, gerados pelo painel analítico do “GreenEye”. Fonte: O autor (2026).

Complementarmente, na Figura 50 o gráfico de gravidade relaciona cada categoria aos níveis de severidade atribuídos às ocorrências (pequena, média e grande). Observa-se predominância de ocorrências classificadas como de grande gravidade nas categorias com maior volume de registros, especialmente “Outros”, “Entulho” e “Orgânico”. Esse comportamento sugere que os descartes mais frequentes também tendem a apresentar maior potencial de impacto ambiental e visual, reforçando a importância da priorização dessas ocorrências pelos órgãos responsáveis.

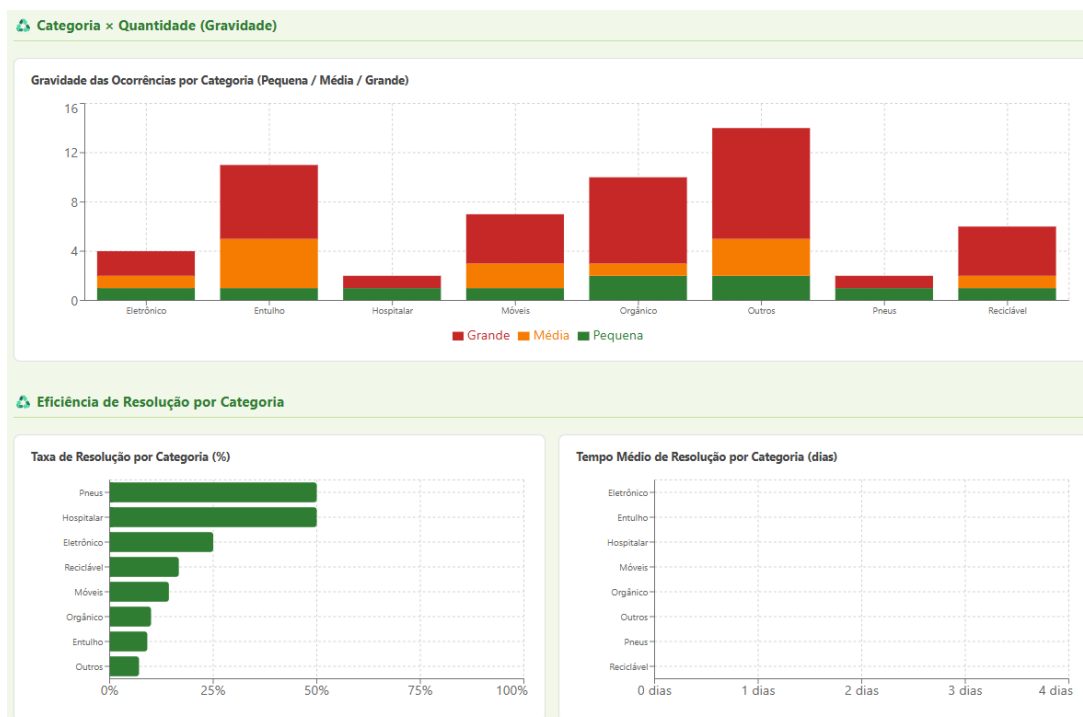


Figura 50 – Distribuição por categoria de resíduo e gravidade das ocorrências, gerados pelo painel analítico do “GreenEye”. Fonte: O autor (2026).

Além de auxiliar na compreensão do perfil dos resíduos descartados, essas visualizações demonstram a capacidade do sistema de transformar registros individuais em informações gerenciais úteis para planejamento, fiscalização e tomada de decisão. A geração automática desses indicadores reduz o esforço necessário para análise dos dados e contribui para uma gestão mais orientada por evidências.

5.2 Análise Espacial e Identificação de *Hotspots*

A análise espacial das ocorrências registradas foi realizada por meio da função `ST_SnapToGrid` do *PostGIS*, que agrupa automaticamente os pontos de descarte em células de uma grade geográfica com resolução de 0,002 graus (aproximadamente 220 metros). Essa abordagem permite identificar *hotspots* — áreas com maior concentração de ocorrências — de forma mais robusta do que o simples arredondamento de coordenadas, operando diretamente sobre a geometria armazenada no banco de dados.

A Tabela 3 apresenta os dez pontos com maior concentração de ocorrências identificados pelo sistema, com suas respectivas coordenadas agrupadas e o peso calculado para o mapa de calor.

Tabela 3 – Top 10 Locais com Maior Concentração de Ocorrências (via `ST_SnapToGrid`)

#	Latitude	Longitude	Ocorrências	Peso no Heatmap
1	−16,246	−47,944	3	9
2	−16,156	−47,966	1	2
3	−16,106	−47,918	1	3
4	−16,238	−47,952	1	3
5	−16,264	−47,976	1	3
6	−16,214	−47,934	1	1
7	−16,244	−47,904	1	2
8	−8,142	−34,914	1	2
9	−16,142	−47,928	1	3
10	−16,238	−47,956	1	2

O *hotspot* principal, localizado nas coordenadas aproximadas $-16,246^{\circ}$ S / $-47,944^{\circ}$ O (região central de Luziânia-GO), concentrou três ocorrências com peso ponderado de 9 no mapa de calor, representando a maior concentração espacial identificada pelo sistema.

Mesmo considerando uma base de dados ainda reduzida, esse agrupamento demonstra a capacidade da plataforma de detectar automaticamente áreas críticas e priorizar regiões que demandam maior atenção dos gestores públicos.

A predominância de registros concentrados em Luziânia-GO é compatível com o contexto de validação da pesquisa, uma vez que a maior parte das ocorrências foi cadastrada para testar as funcionalidades do sistema nesse município. Ainda assim, a distribuição espacial observada evidencia o correto funcionamento das consultas geográficas, dos mecanismos de agregação espacial e da geração automática de indicadores territoriais.

A entrada de coordenadas $-8,142^{\circ}$ S / $-34,914^{\circ}$ O, correspondente à região metropolitana do Recife/PE, foi registrada por um respondente externo recrutado via formulário público, demonstrando que a arquitetura da plataforma suporta uso em escala nacional sem necessidade de alterações. O sistema não impõe restrição geográfica ao registro de ocorrências, o que amplia seu potencial de aplicação para outros municípios além de Luziânia.

A Figura 51 apresenta o mapa de calor gerado pelo sistema a partir das ocorrências registradas, utilizando a biblioteca *leaflet.heat* com os pesos calculados pelo *ST_SnapToGrid*. A paleta de cores ilustra a densidade de registros: a cor azul indica baixa concentração, a amarela representa média concentração e a vermelha destaca as áreas de alta concentração de ocorrências.

A visualização obtida permite identificar rapidamente regiões com maior incidência de descartes irregulares, fornecendo subsídios para definição de rotas de fiscalização, campanhas de conscientização ambiental e planejamento de ações corretivas. Dessa forma, o módulo de análise espacial demonstra potencial para atuar como ferramenta de apoio à tomada de decisão em cenários reais de gestão ambiental urbana.

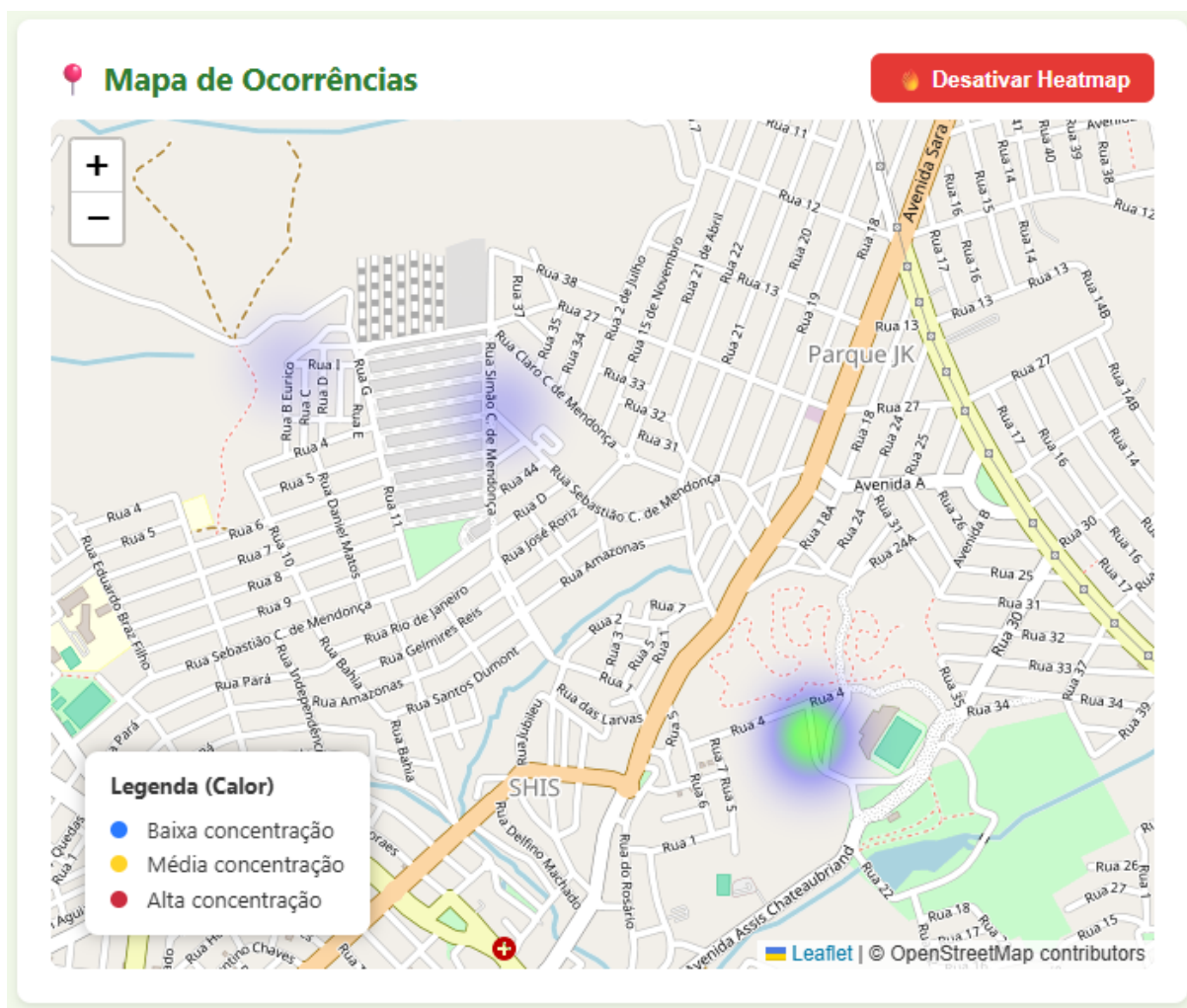


Figura 51 – Mapa de calor das ocorrências de descarte irregular gerado pelo sistema “GreenEye”. Fonte: O autor (2026).

5.3 Avaliação do Desempenho e dos Requisitos Não Funcionais

Durante a fase de validação, os requisitos não funcionais de desempenho definidos no Capítulo 4 foram verificados em ambiente de desenvolvimento local. O carregamento do mapa interativo com as 18 ocorrências registradas, incluindo a renderização dos marcadores, camadas cartográficas e do mapa de calor, ocorreu em tempo inferior a 2 segundos, permanecendo abaixo do limite de 5 segundos estabelecido no requisito RNF02.

As consultas ao banco de dados, incluindo operações espaciais realizadas pelo *PostGIS*, consultas estatísticas para geração dos relatórios analíticos e execução da função *ST_SnapToGrid*, retornaram resultados em menos de 1 segundo durante os testes realizados. Os resultados obtidos indicam que a arquitetura adotada atende satisfatoriamente aos requisitos de desempenho estabelecidos para a solução.

Além dos testes de desempenho, foi possível validar o funcionamento integrado dos principais fluxos de negócio da aplicação. O relatório estatístico registrou uma ocorrência

resolvida, duas solicitações de coleta, uma coleta efetivamente realizada e uma empresa cadastrada para participação no processo de atendimento. Embora a organização utilizada tenha sido criada exclusivamente para fins de validação funcional da plataforma, sua utilização permitiu verificar corretamente os mecanismos de autorização, gerenciamento de solicitações e confirmação de coletas implementados para o perfil **empresa/ONG**.

Cabe destacar que os tempos de resposta observados durante os testes foram obtidos em um ambiente de desenvolvimento local e com uma quantidade limitada de registros. Em cenários de produção, com aumento do volume de dados, do número de usuários simultâneos e da complexidade das consultas espaciais, é esperado que ocorra alguma degradação no desempenho. Entretanto, essa degradação pode ser mitigada por meio da ampliação dos recursos computacionais disponibilizados ao sistema, como maior capacidade de processamento, memória, armazenamento e mecanismos de otimização do banco de dados, além da adoção de estratégias de escalabilidade horizontal e vertical. Dessa forma, o “*GreenEye*” foi concebido de modo a permitir sua evolução para atender demandas maiores sem comprometer sua funcionalidade principal.

O sistema de autenticação baseado em JWT foi validado para os três perfis autenticados (**gestor**, **empresa/ONG** e **superadmin**). As rotas administrativas exigem autenticação e autorização, enquanto as senhas são armazenadas utilizando *hash bcrypt*. Durante os testes, acessos às funcionalidades administrativas sem autenticação válida foram impedidos. O módulo público permaneceu acessível de forma anônima, conforme especificado nos requisitos do sistema. Adicionalmente, o fluxo de recuperação de senha por e-mail foi testado com sucesso em ambiente de desenvolvimento utilizando o serviço *Ethereal*, permitindo validar a geração e o envio das mensagens automatizadas produzidas pelo *Nodemailer*.

5.4 Discussão

Os resultados obtidos durante a fase de validação demonstram que o sistema “*GreenEye*” atingiu os objetivos propostos neste trabalho, possibilitando o registro, georreferenciamento, classificação e monitoramento de ocorrências de descarte irregular por meio de uma plataforma WebSIG integrada. A validação funcional confirmou o correto funcionamento dos módulos destinados aos diferentes perfis de usuário (**cidadão**, **gestor**, **empresa/ONG** e **superadmin**), bem como dos mecanismos de autenticação, análise espacial, geração de relatórios estatísticos e gerenciamento do ciclo de atendimento das ocorrências.

Os dados coletados evidenciam que a plataforma foi capaz de registrar e organizar informações ambientais de forma estruturada, transformando ocorrências individuais em indicadores úteis para apoio à tomada de decisão. A geração automática de estatísticas, gráficos temáticos, mapas de calor e relatórios em PDF no Anexo A demonstrou o potencial

do sistema para auxiliar gestores públicos na identificação de áreas críticas e na definição de prioridades para fiscalização e limpeza urbana.

A identificação de *hotspots* por meio de técnicas de agrupamento espacial implementadas com *PostGIS* constitui um dos principais diferenciais da solução desenvolvida. Os resultados demonstraram que mesmo uma base relativamente pequena de ocorrências é suficiente para evidenciar padrões espaciais e apontar regiões com maior concentração de descartes irregulares. Em cenários de utilização contínua, com maior participação da população e ampliação da cobertura territorial, espera-se que essas análises se tornem ainda mais relevantes para o planejamento de ações ambientais.

Outro aspecto relevante observado durante a validação foi a capacidade do sistema de suportar diferentes etapas do fluxo operacional proposto. A existência de solicitações de coleta, aprovações de atendimento e ocorrências resolvidas demonstra que a arquitetura implementada é capaz de apoiar o ciclo completo de gestão de uma ocorrência, desde o registro pelo cidadão até sua efetiva resolução. Embora a empresa utilizada durante os testes tenha sido criada exclusivamente para fins de validação funcional, os resultados obtidos permitiram verificar o correto funcionamento das funcionalidades destinadas às organizações coletoras e dos mecanismos de interação entre os diferentes perfis de usuários.

A participação de um respondente externo via formulário público, responsável pelo registro de uma ocorrência na região metropolitana de Recife/PE, também representa um resultado relevante. Além de demonstrar a usabilidade da plataforma por usuários não envolvidos diretamente no desenvolvimento do projeto, esse registro evidencia que a solução possui potencial de aplicação além do município de Luziânia, não apresentando limitações técnicas relacionadas à abrangência geográfica dos dados cadastrados.

A ausência de parceiros institucionais ativos neste período inicial é uma limitação esperada para um sistema em fase de implantação. O valor do “*GreenEye*” como ferramenta de gestão pública se realizará plenamente à medida que a plataforma for adotada pela Prefeitura de Luziânia e por empresas e ONGs de coleta da região, permitindo que o ciclo completo de uma ocorrência — do registro pelo cidadão à confirmação da coleta pela empresa — seja operacionalizado em condições reais. A estrutura técnica para suportar esse fluxo está implementada e validada, aguardando a formalização das parcerias institucionais necessárias para sua plena operação.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o projeto, a implementação e a validação funcional do sistema “*GreenEye*”, um Sistema de Informação Geográfica para Web voltado ao mapeamento colaborativo de locais de descarte irregular de resíduos sólidos. A solução desenvolvida integra uma interface pública para registro e visualização de ocorrências, módulos administrativos para gestão das ocorrências e recursos de análise espacial apoiados pelo *PostgreSQL/PostGIS*.

Os objetivos propostos foram alcançados em sua dimensão técnica. A revisão bibliográfica fundamentou o problema do descarte inadequado de resíduos e o uso de geotecnologias na gestão ambiental; os requisitos funcionais e não funcionais foram definidos; a arquitetura cliente-servidor foi implementada; e a plataforma foi validada com um conjunto piloto de ocorrências georreferenciadas. Os resultados demonstraram que o sistema é capaz de registrar ocorrências com localização e fotografia, classificar diferentes tipos de resíduos, exibir os dados em mapa interativo e gerar informações analíticas para apoiar a identificação de áreas críticas.

A principal limitação identificada está relacionada à fase inicial de implantação, ainda sem parcerias institucionais formalizadas com a gestão pública municipal e com empresas ou organizações de coleta. Por isso, a validação realizada concentrou-se na verificação técnica da plataforma e no uso de dados piloto, não abrangendo ainda o ciclo completo de atendimento em ambiente operacional real.

6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Embora os resultados obtidos demonstrem a viabilidade da utilização do “*GreenEye*” como ferramenta de apoio ao monitoramento do descarte irregular de resíduos sólidos, existem diversas oportunidades para sua evolução e ampliação.

Uma das possibilidades consiste na integração do sistema com a plataforma Gov.br, permitindo que cidadãos e representantes de empresas realizem autenticação utilizando suas identidades digitais oficiais. O “*GreenEye*” já utiliza CPF e CNPJ como identificadores de acesso, decisão arquitetural que facilita uma futura integração com serviços de autenticação governamental, aumentando a segurança, a confiabilidade dos dados cadastrados e a interoperabilidade com sistemas públicos.

Também é recomendada a elaboração de programas de capacitação e treinamento voltados para gestores públicos, fiscais ambientais, cooperativas, organizações não governamentais e empresas parceiras. A formação adequada dos usuários pode ampliar a eficiência

operacional do sistema e melhorar a qualidade dos dados coletados e analisados.

Outra ação importante refere-se à divulgação da plataforma junto à população. Campanhas de conscientização e educação ambiental podem incentivar a participação cidadã no registro de ocorrências, fortalecendo o caráter colaborativo da solução e aumentando a cobertura territorial do monitoramento.

No âmbito tecnológico, recomenda-se investigar a integração do “*GreenEye*” com veículos aéreos não tripulados (drones) para realização de vistorias e monitoramento de áreas críticas. O uso dessas tecnologias pode auxiliar na identificação de novos pontos de descarte irregular, no acompanhamento da evolução das áreas impactadas e na geração automatizada de evidências georreferenciadas para subsidiar ações de fiscalização.

Outra possibilidade consiste na integração do ‘*GreenEye*’ com sistemas inteligentes de videomonitoramento urbano. Essa perspectiva mostra-se especialmente relevante no contexto do município de Luziânia-GO, que vem ampliando sua infraestrutura tecnológica de segurança pública por meio da implantação de câmeras equipadas com recursos de inteligência artificial. Conforme divulgado pela Prefeitura de Luziânia em suas redes institucionais, o município conta atualmente com 72 câmeras em operação e outras 72 em fase de instalação, utilizando a plataforma ‘IA Contra o Crime’, capaz de realizar leitura automática de placas de veículos e cruzamento de dados em tempo real. Segundo a publicação, a central de monitoramento opera em integração com o 10º Batalhão da Polícia Militar, permitindo o compartilhamento imediato de informações entre os órgãos responsáveis pela segurança pública.

Nesse contexto, pesquisas futuras poderão avaliar a viabilidade técnica, jurídica e operacional da integração entre os sistemas de videomonitoramento e o ‘*GreenEye*’. A partir dessa integração, ocorrências suspeitas de descarte irregular poderiam ser detectadas automaticamente por meio da análise de imagens e encaminhadas aos gestores responsáveis para validação e acompanhamento. Além de apoiar ações de fiscalização em tempo real, essa abordagem poderia contribuir para a produção de evidências georreferenciadas, identificação de padrões de recorrência e fortalecimento das estratégias preventivas voltadas à gestão ambiental urbana.

A Figura 52 apresenta a publicação oficial da Prefeitura de Luziânia referente à expansão do sistema de videomonitoramento inteligente utilizado no município.



Figura 52 – Publicação oficial da Prefeitura de Luziânia sobre a expansão do sistema de videomonitoramento inteligente no município. Fonte: Prefeitura de Luziânia (2026).

Adicionalmente, recomenda-se o aprofundamento das análises espaciais por meio da incorporação de indicadores socioambientais, dados demográficos, informações sobre infraestrutura urbana e técnicas de inteligência artificial. Essas funcionalidades poderão auxiliar na previsão de áreas com maior propensão ao descarte irregular, contribuindo para o planejamento preventivo das ações de fiscalização, limpeza urbana e educação ambiental.

Por fim, sugere-se a realização de estudos em larga escala envolvendo múltiplos municípios, permitindo avaliar a escalabilidade da solução, seu impacto na gestão pública e sua contribuição para a redução efetiva dos pontos de descarte irregular de resíduos sólidos.

Conclui-se que o “*GreenEye*” constitui uma solução tecnológica viável para apoiar a gestão ambiental urbana, ao transformar ocorrências dispersas em dados georreferenciados e analisáveis. Dessa forma, a plataforma contribui para ampliar a transparência, fortalecer a participação social e subsidiar ações públicas mais eficientes no enfrentamento do descarte irregular de resíduos sólidos. Além da aplicação ao descarte irregular de resíduos, a arquitetura desenvolvida apresenta potencial de adaptação para o mapeamento colaborativo de outros problemas urbanos que possuam natureza espacial, como buracos em vias públicas, iluminação defeituosa, depredação de equipamentos públicos e outros tipos de ocorrências. Nesse contexto, trabalhos futuros poderão investigar a generalização do modelo de dados e a criação de interfaces específicas para agentes públicos, inclusive por meio de aplicações móveis que permitam o registro georreferenciado de ocorrências diretamente em campo.

REFERÊNCIAS

Afinko Polímeros. *Política Nacional de Resíduos Sólidos: Entenda!* 2020. Disponível em: <<https://afinkopolimeros.com.br/politica-nacional-residuos-solidos-entenda>>. Acesso em: 08 out. 2025. Citado 3 vezes nas páginas 7, 30 e 33.

Andalucía Ecológica. *La Junta promueve la economía circular para evitar el impacto en el medio ambiente y favorecer el crecimiento y el empleo.* 2020. Disponível em: <<https://andaluciaecologica.com/la-junta-promueve-la-economia-circular-evitar-impacto-medio-ambiente-favorecer-crecimiento-empleo>>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 29.

ARANTES, M. V. C.; PEREIRA, R. d. S. Análise crítica dos 10 anos de criação e implementação da política nacional de resíduos sólidos (pnrs) no brasil. *Revista Liceu On-line*, v. 11, n. 1, p. 48–66, 2021. Citado 7 vezes nas páginas 24, 29, 30, 31, 32, 35 e 80.

BIANCHI, N. A importância da economia circular para o aproveitamento inteligente dos recursos naturais. *Interface Tecnológica*, v. 17, n. 1, p. 543–554, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 28.

Brasil. *Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.* 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Citado 8 vezes nas páginas 18, 19, 24, 29, 30, 31, 32 e 33.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). *Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 222, de 28 de março de 2018: Regulamenta as boas práticas de gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde e dá outras providências.* Brasília: [s.n.], 2018. Acesso em: 24 nov. 2025. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2018/rdc0222_28_03_2018.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 26.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.* [S.l.: s.n.], 1996. Texto produzido para o Projeto GEOTEC, INPE. Citado 8 vezes nas páginas 38, 39, 40, 41, 43, 45, 46 e 47.

CAMPOS, A. M. *GDF vai analisar estudos de quatro empresas para gestão do Aterro Sanitário de Brasília.* 2022. Disponível em: <<https://blogs.correiobraziliense.com.br/capital-sa/2022/02/07/gdf-vai-analisar-estudos-de-quatro-empresas-para-gestao-do-aterro-sanitario-de-brasilia>>. Acesso em: 06 nov. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 34.

CONDE, T. T.; STACHIW, R.; FERREIRA, E. Aterro sanitário como alternativa para a preservação ambiental. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, v. 3, n. 1, p. 69–80, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.unir.br/index.php/rolimdemoura/article/view/1183>>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 34.

Electrical e-Library. *Sistema de Informação Geográfica (SIG).* 2019. Disponível em: <<https://www.electricalibrary.com/2019/10/22/sistema-de-informacao-geografica-sig>>. Acesso em: 14 out. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 42.

Environmental Systems Research Institute. *Understanding Map Projections*. Redlands: ESRI Press, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 39.

ESTEFAN, C. *Feto é encontrado dentro de caixa de sapato em lixão de Luziânia (GO)*. 2021. Disponível em: <<https://www.metropoles.com/distrito-federal/entorno/feto-e-encontrado-dentro-de-caixa-de-sapato-em-lixao-de-luziania-go>>. Acesso em: 06 nov. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 35.

FERREIRA, N. C. *Apostila de Sistema de Informações Geográficas*. Goiânia, 2006. Apostila para a Disciplina Sistema de Informações Geográficas do Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento. Citado 4 vezes nas páginas 40, 41, 44 e 46.

FIGUEIREDO, K. R. O descarte indevido de lixo é um problema ambiental e social. *Revista Unitins*, 2025. Disponível em: <<https://revista.unitins.br/index.php/extensao/article/view/9180/5230>>. Citado na página 16.

FONSECA, L. H. A. *Reciclagem: o primeiro passo para a preservação ambiental*. s.d. Artigo acadêmico, Centro Universitário Barra Mansa. Disponível em PDF. Citado na página 33.

FOSTER, A.; ROBERTO, S. S.; IGARI, A. T. Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica. *Anais do Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*, 2016. Citado na página 29.

GONDIM, M. d. F.; ALENCAR, T. L. d.; ARAGÃO, A. e. S. d.; ALENCAR, C. H. M. d. A questão dos resíduos sólidos e o uso de sig para a tomada de decisões. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 14, n. 6, p. 2115–2122, 2009. Citado na página 27.

HORA, V. P. d. Descarte irregular de resíduos. 2018. Citado na página 16.

JONES, C. B. *Geographical Information Systems and Computer Cartography*. 1. ed. Essex: Addison-Wesley Longman Limited, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 40.

LOPES, A. A. d. S.; HINO, A. A. F.; MOURA, E. N. d.; REIS, R. S. Sistema de informação geográfica em pesquisas sobre ambiente, atividade física e saúde. *Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde*, v. 23, 2018. Citado 5 vezes nas páginas 41, 43, 44, 45 e 46.

MEDEIROS, J. M. *GreenEye: Sistema WebSIG para mapeamento de descarte irregular de resíduos*. 2026. <<https://github.com/Julymira/Green-Eye-TCC>>. Repositório no GitHub. Acesso em: 18 jun. 2026. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 48.

MIRELLA, V.; TEIXEIRA, M.; SANTANA, V.; LAURIA, I. O. Lixo e seus impactos na vida da população. *Anuário de Produções Acadêmico-Científicas dos Discentes da Faculdade Araguaia*, v. 6, p. 61–69, 2017. Citado 5 vezes nas páginas 25, 27, 28, 32 e 35.

PEREIRA, E. D. A.; CARMO, C. N. d.; ARAUJO, W. R. M.; BRANCO, M. d. R. F. C. Distribuição espacial de arboviroses e sua associação com um índice de desenvolvimento social e o descarte de lixo em são luís, maranhão, 2015 a 2019. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, SciELO Public Health, v. 27, p. e240017, 2024. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 18.

- PINTO, G. de A.; SILVA, J. R. Análise socioambiental da gestão dos resíduos sólidos urbanos. *Caderno de Geografia*, v. 27, n. 50, p. 486–503, jul./set. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/p.2318-2962.2017v27n50p486>>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 26.
- SANTOS, E. I.; SANTOS, G. T.; OLIVEIRA, S. S. d.; COSTA, S. F. d.; HACON, S. d. S. Lixões e aterros sanitários: associação com ocorrência de doenças infecciosas e parasitárias em municípios de médio e grande porte em mato grosso. *Saúde e Sociedade*, v. 24, n. 2, p. 674–685, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 35.
- SANTOS, V. C. P.; ARAÚJO, M. L.; BRAGA, R. M. Q. L.; ALBERTO, C.; LIMA, F.; CARDOSO, E. L. O papel das políticas públicas para a viabilização da economia circular e da educação ambiental: a questão dos resíduos sólidos em belém e rmb. In: *Congresso Sul Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade*. [S.l.: s.n.], 2022. v. 5. Citado na página 18.
- SILVA, C. L. d.; BOLLMANN, H. A. Avaliação das relações sociais em redes de políticas públicas para consolidação de programas de gestão de resíduos sólidos urbanos: um estudo aplicado sobre o programa “lixo que não é lixo” de curitiba. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)*, n. 21, p. 31–47, 2011. Citado na página 19.
- SILVA, L. G. *Metodologia de Controle de Processos: O Ciclo PDCA*. [S.l.], 2015. Disponível em: <https://www.luisguilherme.com.br/download/ENG1530/TurmaC04/G07-Ciclo_PDCA.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 20.
- VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. d. B. Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais. *Série Técnica IPEF*, v. 12, n. 32, p. 111–115, 1998. Citado na página 16.

Anexos

ANEXO A – RELATÓRIO DE ATIVIDADES GREENEYE

GREEN EYE

Sistema de Monitoramento Ambiental - Luziania/GO

Relatorio Estatistico Completo

Gerado em:	16/06/2026, 18:27
Gestor responsavel:	julyanamira@gmail.com
Nivel de acesso:	Super Administrador
Desenvolvedora:	Julyana Mira Medeiros
Sistema:	Green Eye v1.0 - TCC 2026
Confidencialidade:	Uso interno - nao divulgar sem autorizacao

Este documento foi gerado automaticamente pelo Sistema Green Eye e contem dados estatisticos de ocorrencias ambientais, coletas e pontos de descarte registrados.

1. KPIs - Ocorrências de Descarte Irregular

Indicador	Valor
Total de Ocorrências Registradas	18
Aguardando Atendimento (Novas)	16
Ocorrências Resolvidas	1
Taxa de Resolução	5.6%
Tempo Medio de Resolução	0.0 dias
Ocorrências Unificadas	1

2. KPIs - Coletas por Empresas/ONGs

Indicador	Valor
Total de Solicitações de Coleta	2
Coletas Efetivamente Realizadas	1
Taxa de Coleta	100.0%
Taxa de Aprovação das Solicitações	100.0%
Taxa de Expiração de Prazo	0.0%
Empresas/ONGs Ativas	1
Total de Empresas Cadastradas	1

3. Ocorrências por Categoria de Resíduo

Categoria	Ocorrências	Taxa de Resolucao	Tempo Medio
Outros	14	7.1%	0.0 dias
Entulho	11	9.1%	0.0 dias
Orgânico	10	10.0%	0.0 dias
Móveis	7	14.3%	0.0 dias
Reciclável	6	16.7%	0.0 dias
Eletrônico	4	25.0%	0.0 dias
Hospitalar	2	50.0%	0.0 dias
Pneus	2	50.0%	0.0 dias

4. Volume Mensal de Ocorrências (ultimos 12 meses)

Mes	Criadas	Resolvidas	Taxa do Periodo
2026-05	14	0	0%
2026-06	4	1	25%

5. Funil de Atendimento - Ciclo de Vida

Etapa do Ciclo	Quantidade
1. Registradas	18
2. Em Atendimento	2
3. Com Solicitacao	2
4. Coleta Aprovada	1
5. Coleta Confirmada	1
6. Resolvidas	1

6. Ranking de Empresas e ONGs por Coletas Realizadas

#	Empresa / ONG	Solicitacoes	Realizadas	Eficiencia
1.	Julyana LTDA	2	1	50%

7. KPIs - Pontos de Descarte Correto

Indicador	Valor
Total de Pontos Cadastrados	8
Pontos Ativos	8
Pontos Inativos	0
Com Localizacao GPS	8
Cidades com Cobertura	2
Tipos de Residuo Cobertos	9 de 9

8. Cobertura por Tipo de Residuo

Tipo de Residuo	No. de Pontos	Tem Cobertura Ativa?
Eletronico	2	Sim
Organico	2	Sim
Entulho	5	Sim
Pneus	4	Sim
Moveis	5	Sim
Lixo Domestico	2	Sim
Hospitalar	1	Sim
Reciclavel	7	Sim
Outros	5	Sim

9. Lista Completa de Pontos de Descarte

Nome	Cidade	Endereco	Tipos Aceitos	Horario	GPS	Status
Eco Resíduo Hospitalar	Brasília - DF	Saa Q 3 - SAAN	Hospitalar	Segunda a Sexta ->8h as18h	-15.7692, -47.9366	Ativo
Coopera Mais Brasil	Luziânia - GO	QUADRA 16 LOTE 04, RUA ANTONIO VIEIRA FILHO - St. Leste	Entulho, Outros, Móveis, Pneus, Reciclável, Eletrônico, Orgânico, Lixo Doméstico	Segunda a Sexta -> 8h as 17h	-16.2604, -47.9356	Ativo
JR RECICLAGEM LUZIANIA	Luziânia - GO	Av. Perimental, 8 - Parque Alvorada III	Entulho, Outros, Pneus, Móveis, Reciclável	Segunda a Sexta -> 8:h as 18h e Sábado 8h as 12h	-16.2192, -47.9149	Ativo
LexTec Reparos Notebook e Video Game	Luziânia - GO	R. José Roriz, Q. 15 - Lote A-2 - Alto das Caraíbas	Eletrônico, Reciclável	Segunda a Sexta -> 9h as 18h	-16.2403, -47.9486	Ativo
Mais Logística Ambiental LTDA	Luziânia - GO	Fazenda Pôr do Sol Região Buracão, Chácaras Montana	Entulho, Outros, Móveis, Reciclável	(Não tem informações divulgadas dos horários)	-16.2169, -47.8496	Ativo
RECICLA FORTE	Luziânia - GO	R. 21, 10 - St. Norte	Reciclável, Outros, Entulho, Móveis, Pneus	Segunda a Sexta -> 8h as 17h Sábado 8h as 12h	-16.2321, -47.9435	Ativo
Terra Viva Reciclagens de Resíduos	Luziânia - GO	R. Itaberai, 63 - São Caetano	Lixo Doméstico, Móveis, Outros, Reciclável, Entulho, Orgânico	(Não tem informações divulgadas dos horários)	-16.2616, -47.9319	Ativo
WTO Ambiental	Luziânia - GO	Distrito Industrial De Luziânia (DIAL - Via Secundária, 25 - Quadra 28, Modulos 17A - DIAL	Pneus, Reciclável	Segunda a Sexta -> 7h as 16:00	-16.2012, -47.8655	Ativo