

Contexto

A gestão de resíduos sólidos urbanos é um dos maiores desafios enfrentados pelas cidades modernas, especialmente em centros urbanos. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em 2023, cerca de 41% da produção nacional de resíduos tiveram uma destinação inadequada. Consequentemente, o crescimento populacional, aliado ao aumento do consumo e da urbanização, tem elevado significativamente a geração de lixo. No ano de 2023, a produção de lixo por habitante sofreu um aumento, sendo em média 382 quilos de resíduos descartados por pessoa no país durante o ano, totalizando 80 milhões de toneladas, dados da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA).

Entre as regiões que mais produzem resíduos se destaca a região sudeste detentora de estados extremamente populosos como São Paulo (maior e mais populosa capital do Brasil com cerca de 46 milhões de habitantes), Minas Gerais (com cerca de 20 milhões de habitantes), Rio de Janeiro (com 16 milhões de habitantes) e Espírito Santo (entre aproximadamente 3,5 e 4 milhões de habitantes).

Sob esse viés, a superlotação das lixeiras de grande porte é inevitável, e ocorre quando o volume de lixo depositado excede a capacidade de armazenamento do contêiner. Essa situação leva ao transbordamento de resíduos, problemas de higiene, odor, entupimento de bueiros entre outros problemas, além de poluir visualmente as paisagens urbanas.

Nesse contexto, as lixeiras subterrâneas de grande porte apresentam-se como uma alternativa que contribui para a organização do espaço urbano, a redução de odores e a minimização da poluição visual. Trata-se de depósitos de resíduos em que a maior parte do volume está enterrado ou abaixo do nível do solo, com tampas ou bocas de depósito acessíveis do nível da rua ou calçada.

A recente implementação desse tipo de lixeira no Brasil está atrelada com as diversas vantagens que ela carrega consigo. Sua estrutura vedada no subsolo diminui a exposição do lixo ao ambiente, reduz a proliferação de pragas e possíveis agentes patogênicos, mitiga os odores desagradáveis do lixo decomposto e impede o acesso de animais de rua junto da entrada de chuva em alagamentos. Contribui para a estética urbana diminuindo a quantidade de lixeiras expostas, sacos de lixo espalhados, sujeira nas calçadas e nas ruas, tornando a cidade mais agradável e atrativa para o turismo. Ademais, o uso das lixeiras subterrâneas diminuem o escoamento de resíduos como o chorume nos sistemas de drenagem ou no solo.

No Brasil já temos exemplos de como a implementação desta tecnologia vem ajudando as cidades a controlar seu descarte de lixo. Em Fortaleza o uso em

localizações estratégicas vem auxiliando na redução do descarte irregular e melhora na limpeza, além da coleta seletiva. No setor habitacional de Brasília, a implementação de algumas dezenas de unidades subterrâneas vem ajudando na redução de odores, prevenção de pragas e melhora na qualidade de vida dos moradores, já havendo planos de expansão na quantidade de lixeiras para casa das centenas. Em Presidente Prudente, município de São Paulo, foram instaladas lixeiras especialmente em áreas de alta movimentação e parques, a fim de contribuir para limpeza pública e preservar zonas ambientais.

Entretanto, uma tecnologia que abrange e visa solucionar um problema de tamanha magnitude vem acompanhada de seus desafios, como sua implementação, preservação e especialmente na sua manutenção. No Brasil já foram relatado custos de cerca de 85 mil por conjunto de lixeiras com a menor capacidade possível, em Porto Alegre foram gastos mais de 4,7 milhões de reais para a implementação de somente 30 unidades. O alto custo na sua instalação está atrelado a dificuldade de trabalho em obras subterrâneas, exigindo uma estrutura de suporte, escavação, sistemas de elevação e abertura, acabamento, vedação, acesso para limpeza, etc. Aliado a isso temos todo o processo de manutenção, englobando limpeza periódica e verificação de toda a infraestrutura já mencionada.

O alto custo envolvido na implementação e manutenção das lixeiras exige um cuidado redobrado no seu manuseio, fatores como o descarte irregular, desgaste da estrutura e a ineficácia na logística de coleta são alguns dos principais agravantes de problemas técnicos e estruturais responsáveis por gerar prejuízos na receita do local. Cidades que já fazem uso das lixeiras relatam que parte da população utiliza o sistema de forma equivocada, depositando lixo indevido nos compartimentos ou até mesmo vandalizando a estrutura, contribuindo para sua depreciação. As frotas de coleta são um dos pontos mais críticos nessa operação, por seguirem roteiros fixos é comum vermos casos de lixeiras pouco utilizadas sendo coletadas sem necessidade enquanto outros pontos próximos da sua lotação máxima são deixados de lado, podendo acarretar em um transbordamento de lixo armazenado que danifica a estrutura interna das lixeiras, gerando um prejuízo significativo. De acordo com o relatório “Smart Waste Management: Global Market Outlook”, a coleta baseada em cronogramas fixos aumenta em até 30% o custo operacional, considerando combustível, manutenção de veículos e mão de obra.

O problema central que esse projeto aborda é a falta de controle em tempo real sobre a ocupação das lixeiras subterrâneas. A coleta programada realizada por grande parte das empresas desconsidera a real demanda de cada ponto de descarte, seguindo horários e percursos fixos independente do volume de lixo existente. Essa prática gera efeitos negativos, como o desperdício de recursos quando caminhões se deslocam para lixeiras que ainda estão vazias e o risco de acúmulo excessivo de lixo em locais de maior utilização. A Autoridade Municipal de Limpeza Urbana (AMLURB) reportou em 2021 que cerca de 25% dos trajetos

diários dos caminhões de coleta eram feitos para pontos com volume insuficiente de lixo, esse desperdício representava um custo anual estimado de R\$ 14 milhões em combustível e horas de trabalho. No caso de lixeiras subterrâneas essas situações são ainda mais críticas, pois o lixo não é visível externamente, a coleta exige equipamentos especializados (como caminhões embutidos com guindastes), além de todo seu processo de retirada demandar um tempo significativo.

Sendo assim, a ReTech criou esse projeto a fim de implementar um sistema de monitoramento inteligente que utilize sensores para medir a capacidade das lixeiras subterrâneas, armazenando essas informações em um banco de dados, enviando alertas automáticos à prefeitura e às equipes de coleta. Conforme o Relatório Técnico da SMMA de Curitiba (2021), após o monitoramento via sensores, a frequência de transbordamentos caiu em 60% e o custo de coleta reduziu em 18%. Oferecendo à gestão pública uma ferramenta inovadora de tomada de decisão, promovendo uma cidade mais limpa, sustentável e eficiente, permitindo otimizar as rotas de coleta, garantindo um direcionamento mais assertivo e maior eficiência no uso dos veículos de coleta.

Objetivo

A ReTech tem como objetivo proporcionar uma coleta de resíduos mais eficiente, através do nosso sistema de monitoramento da superlotação das lixeiras subterrâneas. Os dados captados pelos sensores serão armazenando em um banco de dados, que posteriormente será usado de base para o desenvolvimento de dashboards contendo gráficos e KPIs, alertando à prefeitura e às equipes de coleta das lixeiras em seus diferentes estados de preenchimento. Assim, diminuindo a ineficiência e otimizando a rota, já que os caminhões serão direcionados a locais onde existem a alta lotação de resíduos, ao invés de passar em um ponto de coleta por vez mesmo sem a necessidade.

Além de diminuir a quantidade de caminhões nas ruas economizando recursos e proporcionando um manuseio mais preciso em toda a cidade oferece à gestão pública uma ferramenta inovadora de tomada de decisão, promovendo uma cidade mais limpa, sustentável e eficiente, alinhada às demandas contemporâneas de urbanização e tecnologia. Ou seja, socialmente, ele contribui para a melhoria da qualidade de vida e reduz riscos à saúde. Ambientalmente, diminui a emissão de poluentes gerados pelo deslocamento excessivo de caminhões de coleta. Economicamente, reduz custos operacionais relacionados ao combustível, manutenção da frota e horas de trabalho.

Justificativa

Segundo órgãos responsáveis pela limpeza urbana de diversas cidades que fazem uso do sistema de lixeiras subterrâneas, a falta de monitoramento é responsável por prejuízos financeiros de aproximadamente 14 milhões anualmente, esse gasto engloba desde o combustível dos caminhões de coleta até a manutenção das lixeiras em casos de transbordamento. A implementação de nosso sistema planeja mitigar o custo de coleta em aproximadamente 20%, seguindo relatos de cidades do exterior que já fazem uso dessa tecnologia.

Para melhor visualização vamos usar de exemplo uma cidade de médio porte com aproximadamente 500 mil habitantes. Seu prefeito implementou 120 pontos de lixeiras subterrâneas, as coletas são realizadas uma vez por dia com um custo médio de operação de R\$700 por rota de coleta. Com base em dados da AMLURB e da ISWA, 30% das lixeiras ainda estão abaixo de 50% da capacidade quando o caminhão passa. Se a cada rota realizada são coletados 12 pontos de lixo, são necessárias 10 operações por dia, em um ano são realizadas 3600 rotas de coleta. Dessas, em média 1080 (30%) são desnecessárias ou mal aproveitadas, gerando assim um prejuízo anual, com média de custo operacional de R\$700, de aproximadamente R\$756.000.

Com essa tecnologia, a ReTech transforma a coleta subterrânea em um processo mais inteligente, econômico e sustentável, reduzindo custos operacionais em até R\$342.000 anualmente. Assim evitando a superlotação dos contêineres, preservando sua infraestrutura e fortalecendo a gestão urbana moderna, tornando as cidades mais limpas, eficientes e preparadas para o futuro.

Lembrando: Esse cálculo mantém-se conservador a cerca de valores e custos adicionais relacionados a desgaste adicional, horas extras, tempo por parada, diferenças salariais por cargo dos funcionários, combustível adicional, entre outros fatores que corroboram para um aumento desse valor.

Escopo

Descrição Resumida do Projeto

O principal objetivo da iniciativa ReTech está no monitoramento do nível de lotação das lixeiras subterrâneas através do uso de sensores de distância ultrassônico e Dashboards dinâmicas alinhadas com o contexto de sua cidade. Visando minar os custos desnecessários da limpeza urbana com frotas de coleta ineficazes e depreciação da infraestrutura dos equipamentos.

Resultado Esperado

O sistema inteligente de monitoramento do nível de preenchimento das lixeiras subterrâneas espera reduzir a perda financeira das cidades que aderirem a esta tecnologia através da preservação dos sistemas de lixeiras que possuem um alto custo atrelado, redução de custos operacionais nas frotas de coleta e sustentação das vantagens promovidas por essa modalidade de lixeiras, agregando na melhora da higiene e aparência urbana das cidades.

Requisitos

Essenciais

- Instalar os sensores e placas arduinos nos pontos de lixeiras;
- Persistir os dados captados em bancos de dados MySQL;
- Criar dashboards dinâmicas com base nos dados dos sensores;
- Criar o Site Institucional;
- Desenvolver lógica de validação de login e cadastro.

Importantes

- Portabilidade do site institucional para dispositivos mobiles;
- Desenvolver o rodapé do site;
- Aplicar um sistema de notificações de alerta dentro da tela de dashboards;
- Desenvolver funcionalidade de criação de cadastros através do usuário admin;
- Autenticação de dois fatores na tela de login.

Desejáveis

- Permitir a customização da conta pelo usuário;
- Desenvolver novas telas no site como FAQ (perguntas frequentes);
- Criar um sistema de rotas inteligentes de coleta com base no nível de lotação das lixeiras;
- Notificações de alerta enviadas para os aparelhos móveis dos usuários;
- Gráficos dinâmicas gerados pela calculadora financeira.

Macro Cronograma

| Etapas | Duração Estimada |
|------------------------------------|-------------------------|
| Contextualização do Projeto | 7 dias |
| Levantamento de Requisitos | 14 dias |
| Criar Branding da Startup | 5 dias |
| Protótipo do Banco de Dados | 5 dias |
| Prototipação do Site Institucional | 21 dias |
| Criar Simulador Financeiro | 14 dias |
| Aplicação Inicial do Sensor | 3 dias |
| Desenvolver Ambiente Virtual | 3 dias |
| Criação do Site Institucional | 15 dias |
| Criar Tela de Login/Cadastro | 15 dias |
| Criar Tela de Dashboards | 15 dias |
| Modelagem Lógica do Banco de Dados | 7 dias |
| Script das Tabelas do Banco | 3 dias |
| Total: | 127 dias |

Recursos Necessários

| Recurso | Quantidade | Carga Horária Estimada |
|--|-------------------|-------------------------------|
| P.O | 1 | 20 horas semanais |
| Scrum Master | 1 | 20 horas semanais |
| DBA | 2 | 20 horas semanais |
| Dev Front-End | 4 | 20 horas semanais |
| Dev Back-End | 2 | 20 horas semanais |
| Ferramentas de Gestão (Trello) | 1 | Conforme Demanda |
| Software de Virtualização (VirtualBox) | 1 | Conforme Demanda |

| | | |
|--|---|-------------------------------|
| IDE para HTML, CSS e JavaScript (VsCode) | 6 | Acesso por membro sob demanda |
| IDE para Arduino (Arduino) | 1 | Acesso Contínuo |
| Sensores Ultrassônicos (HC-SR04) | 1 | Sob demanda |
| Interface Gráfica para Banco de Dados (MySQL Workench) | 2 | Acesso por membro sob demanda |

Riscos e Restrições

Riscos

- Problemas na rede Wi-Fi, impossibilitando o envio dos dados;
- Falha de sensor, podendo apresentar defeitos resultando em uma leitura de dados incoerentes;
- Ataques ou invasões de terceiros maliciosas que comprometam a integridade do back-end e do banco de dados;
- Negligência por parte dos responsáveis com os informes fornecidos pelos gráficos;
- Não conformidade com as normas, correndo risco de autuação ou descarte;
- Vazamento de dados de usuários, acarretando encargos judiciais, perda de credibilidade e danos morais.

Restrições

- Limite de investimento definido para hardware e infraestrutura;
- Dependência em redes de Wi-Fi ou internet estável nos pontos de lixeiras subterrâneas;
- Necessidade de ponto de energia próximos aos sensores (ou uso de baterias limitadas);
- Prazo máximo de entrega estipulado pelo cliente;
- Cronograma pode ser impactado por atrasos no desenvolvimento da aplicação e site institucional;
- Limitações técnicas e temporais dos membros da equipe;
- Cumprir LGPD, quanto ao tratamento dos dados pessoais dos usuários;
- Conformidade com as normas de higiene pública estipuladas pela OMS.

Limites e Exclusões

Incluído

- Instalação do sensor;
- Captação dos dados e distância e sua tratativa para porcentagem;
- Persistência dos dados em database do MySQL Server;
- Virtualização do Banco de Dados para isolamento e segurança;
- Dashboards com os dados coletados através do ChartJS;
- Website institucional (com página inicial, barra de navegação, área de cadastro/login, simulador financeiro e tela de dashboard);
- Definição de níveis de acesso dos usuários;
- Suporte para múltiplos acessos;
- Segurança no login.

Excluído

- Sistema de alerta;
- Instalação de novas lixeiras subterrâneas;
- Sistema de rotas personalizadas;
- Manutenção e preservação dos sensores (responsabilidade da empresa);
- Servidor em nuvem;
- Portabilidade da aplicação em aplicativo mobile.

Stakeholders

| Partes Interessadas | Papel do Projeto | Responsabilidade Principal |
|---------------------|-------------------------------------|---|
| Arthur Rodrigues | Gestor de Introdução a SO | Desenvolvimento do ambiente virtual e sustentação do BD virtualizado |
| Gabriel Pereira | Gestor de Arquitetura Computacional | Captação de dados com sensor arduino e uso da API Dat Acqu Ino para persistência dos dados no banco |

| | | |
|-----------------|---------------------------------|---|
| Gleison Almeida | Gestor de Banco de Dados | Desenvolver Modelagem Lógica e Script das Tabelas |
| Lucas Quevedo | Gestor de T.I | Atualização da Documentação, Diagrama de Solução Técnica e Organização do Trello |
| Pedro Henrique | Gestor de Algoritmos (HTML/CSS) | Desenvolvimento de todo código HTML e CSS do site institucional |
| Samara Farias | Gestor de Algoritmos (HTML/JS) | Aplicação da funcionalidade do Site Institucional com JS e criação dos gráficos com ChartJS |

Premissas e Restrições

Premissas

O projeto de monitoramento de lixeiras subterrâneas de grande porte da ReTech, é baseado nas seguintes premissas:

- Cidade possuir lixeiras subterrâneas para controle do lixo urbano;
- Pontos de lixeiras devem ter acesso a rede wi-fi de no mínimo 5 megabytes;
- Rede elétrica disponível ao redor das lixeiras, voltagem mínima de 220 volts;
- Sensores HC-SR04 para instalação e captação de dados;
- Máquina local, ou microcomputador, cabeadado a cada sensor arduino para envio dos dados ao servidor da ReTech.

Essas premissas são fundamentais para o desenvolvimento do projeto e guiarão as decisões e ações ao longo da implementação do sistema de monitoramento de lixeiras subterrâneas.

Restrições

- Tempo: O projeto está sendo desenvolvido a partir de uma adaptação da metodologia SCRUM para um viés acadêmico, portanto, nossas entregas estão sujeitas ao cronograma estabelecido pela faculdade como as Sprints.

- Disponibilidade: Trabalhamos com uma equipe limitada, apenas seis integrantes, que possuem rotinas e disponibilidade distintas para se dedicar ao projeto.
- Técnica: Os estudantes do grupo possuem diferentes capacitações técnicas e conhecimentos acerca de diversos ramos do nosso curso.
- Hardware: Somos limitados a podermos utilizar somente um sensor Arduino relativo à proposta de nosso grupo.
- Simulação: Estamos realizando o projeto pensado em uma aplicação real que poderia ser comercializada, entretanto, iremos nos limitar a apresentar aos reitores do curso somente dados simulados a fim de exemplificar.

Referências

- <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/amlurb/>

Explica o funcionamento das lixeiras subterrâneas instaladas em São Paulo, a parceria com empresas privadas e as metas de limpeza urbana. Mostra que o sistema busca melhorar o visual urbano e reduzir o mau cheiro e acúmulo de lixo em vias públicas.

- <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2018/07/05/lixearas-subterraneas-prometem-acabar-com-mau-cheiro-e-sujeira-nas-ruas-de-sao-paulo.ghtml>

Reportagem que detalha a implantação inicial das lixeiras subterrâneas na capital paulista, seus benefícios de higiene, segurança e impacto estético nas ruas.

- <https://diariogaucha.clicrbs.com.br/dia-a-dia/noticia/2025/03/projeto-propoe-a-instalacao-de-lixearas-subterraneas-em-porto-alegre-entenda-como-funciona-50227164.html>

Reportagem sobre o projeto em Porto Alegre que detalha valores investidos, a necessidade de veículos e equipamentos adaptados, e os desafios de manutenção e custo por unidade.

- <https://www.correiobraziliense.com.br/cidades-df/2023/10/5156412-brasilia-testa-lixearas-subterraneas-no-plano-piloto.html>

Apresenta o projeto piloto no DF, mostrando ganhos na limpeza urbana, mas também o alto custo de manutenção e de adaptação dos caminhões coletores.

- <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ultimas-noticias/cidades-testam-lixearas-subterraneas-para-reduzir-poluicao-visual-1.3208272>

Fala sobre o uso desse modelo em cidades do Nordeste e como ele melhora a estética urbana, reduz o mau cheiro e evita vandalismo, mas traz custos altos de implantação.

- <https://www.portalresiduossolidos.com/lixearas-subterraneas/>

Artigo técnico que analisa vantagens (limpeza, estética, redução de vetores) e desvantagens (alto custo de instalação e manutenção e dificuldade de acesso subterrâneo).

- <https://www.iswa.org/home/news/news-detail/article/waste-collection-efficiency-and-smart-monitoring/109/>

Relatório internacional que mostra como a ausência de monitoramento em sistemas de coleta gera desperdícios de 25% a 40% nas rotas de coleta devido a deslocamentos desnecessários.

- <https://abrelpe.org.br/panorama-2023/>

Fonte oficial com dados sobre a geração de resíduos, custos médios de coleta e desafios de infraestrutura urbana. Fornece base para os valores médios de custo operacional.

- <https://institutoatmos.org/wp-content/uploads/2024/08/CEMPRE-Pesquisa-sobre-coleta-seletiva-2023.pdf>

Analisa o custo médio de transporte e coleta de resíduos sólidos no Brasil, considerando combustível, manutenção de frota e mão de obra, servindo de base para o cálculo do custo por rota.

- <https://infraestruturaurbana.pini.com.br/2020/05/como-funciona-o-sistema-de-coleta-subterranea-de-residuos/>

Explica tecnicamente o funcionamento de lixeiras subterrâneas e apresenta custos médios de instalação por ponto, além dos desafios de operação.

- <https://www.saneamentobasico.com.br/lixearas-subterraneas-vantagens-desvantagens/>

Analisa o impacto ambiental e urbano das lixeiras subterrâneas, destacando benefícios visuais e sanitários, mas também a complexidade e o custo elevado de manutenção.

- <https://smartcitiesbrasil.com/noticias/monitoramento-inteligente-do-lixo-reduz-custos-operacionais-em-ate-40/>

Mostra como sensores de enchimento e softwares de gestão de rotas reduzem o número de coletas desnecessárias, gerando economias expressivas e maior eficiência logística.