

Recicle++: Uma Aplicação com Otimização de Rotas via OSRM para Eficiência na Coleta Seletiva de Resíduos Urbanos

Leonardo O. Campos^{1,2}, Eduardo Rossi¹, Albert K. Shoji¹,
Mirela T. Cazzolato¹, Alisson M. Silva¹, Maristela O. Santos²

¹Instituto de Ciências Matemáticas e Computação -
Universidade de São Paulo (USP)

²Departamento de Computação -
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)

{leonardocampos, eduardorossi80, albert}@usp.br
{maristela, mirela}@icmc.usp.br, alisson@cefetmg.br

Abstract. *Given a selective waste donor and a waste picker, how can we optimize the collection process to reduce the effort of the worker and the waiting collection time? We propose Recicle++, a solution for selective waste collection that integrates real-time data management and analysis functionalities with route optimization algorithms. Recicle++ connects donors and waste pickers through an interactive platform. It uses the OSRM (Open Source Routing Machine) engine to generate efficient routes, considering variables such as location, time windows, type, and materials volume. The system also has data management mechanisms through an administrative module that allows monitoring of regional statistics, collection history, and user control, enabling data-driven decision-making. With a service-based infrastructure like Firebase and Firestore, Recicle++ enables continuous synchronization between devices, smart notifications, and scalability. Recicle++ is a practical and sustainable alternative for improving the efficiency of urban selective waste collection, standing out for its combined use of route optimization and environmental data management.*

Resumo. *Dado um coletor e um doador de resíduos urbanos recicláveis, como podemos otimizar o processo de coleta de forma a reduzir o esforço do trabalhador e o tempo de espera pela coleta? Neste trabalho é proposto o Recicle++, uma solução voltada à coleta seletiva de resíduos recicláveis que integra funcionalidades de gerenciamento e análise de dados em tempo real com algoritmos de otimização logística. Recicle++ conecta doadores e catadores por meio de uma plataforma interativa e utiliza o motor OSRM (Open Source Routing Machine) para geração de rotas eficientes, considerando variáveis como localização, janelas de tempo, tipo e volume dos materiais. O sistema também incorpora mecanismos de gerenciamento de dados por meio de um módulo administrativo que permite o acompanhamento de estatísticas regionais, histórico de coletas e controle de usuários, promovendo decisões baseadas em dados. Com infraestrutura baseada em serviços como Firebase e Firestore, Recicle++ viabiliza sincronização contínua entre dispositivos, notificações e escalabilidade. O Recicle++ é uma alternativa prática e sustentável para o aumento da eficiência da coleta seletiva urbana, destacando-se pelo uso combinado de otimização de rotas e gestão de dados ambientais.*

1. Introdução

O crescimento acelerado da população urbana e o aumento do consumo leva à geração de grandes volumes de resíduos sólidos urbanos [Lopes 2013]. Uma parte significativa dos resíduos gerados é composta por materiais recicláveis, como papel, plástico, metal e vidro. A maior parte deles é descartada de forma inadequada e destinada diretamente aos aterros sanitários. No Brasil, apenas 3% dos resíduos urbanos são efetivamente reciclados [Ienco 2020]. A coleta seletiva porta a porta é uma das estratégias mais eficientes para aumentar as taxas de reciclagem, facilitando o descarte correto e permitindo um maior controle e triagem do material coletado [Lopes 2013]. Mas sua cobertura ainda é limitada. Em 2022, apenas 14,7% da população brasileira tinha acesso a esse tipo de serviço, sendo a região Nordeste a mais deficiente, com apenas 1,9% de cobertura [ABREMA 2023].

Pesquisas reforçam o potencial da coleta. Na Espanha, a introdução da coleta porta a porta elevou em até 80% a separação de embalagens plásticas [Bel and Bühler 2024]. Na Inglaterra, o estudo [Timlett and Williams 2008] mostrou que abordagens simples, como coleta de *feedback* dos moradores, podem melhorar a qualidade da separação, embora a adesão ampla ainda dependa de soluções mais integradas com a população e os responsáveis pela coleta. No Brasil, os principais entraves à expansão da coleta seletiva incluem a falta de infraestrutura, a inexistência de rotas organizadas, a baixa regularidade do serviço e a ausência de remuneração adequada aos “catadores” [Besen et al. 2023]. Esses profissionais, apesar de desempenharem papel fundamental na cadeia da reciclagem, atuam majoritariamente de forma autônoma e informal, enfrentando altos custos operacionais e baixa eficiência logística.

Neste trabalho é apresentado o Recycle++¹, uma solução voltada à conexão entre catadores, cooperativas e doadores de materiais recicláveis. O aplicativo² visa facilitar e ampliar a coleta seletiva por meio de roteirização otimizada com múltiplos pontos de coleta. Do ponto de vista da coleta seletiva, o depósito poderia ser a cooperativa de onde partem os veículos para coletar recicláveis em diversos pontos de uma cidade. Do ponto de vista do coletor, o depósito será a sua residência ou mesmo o depósito dos recicláveis. A solução foi inspirada nos princípios do Problema de Roteamento de Veículos (VRP) e nas restrições específicas, como janelas de tempo informadas pelos doadores, tipo de material, volume e peso estimado. O sistema utiliza a ferramenta OSRM (*Open Source Routing Machine*) para geração de rotas eficientes, reduzindo custos operacionais e aumentando o volume de material reciclado por jornada.

Recycle++ prevê a inclusão de recursos como notificações inteligentes e mecanismos de agendamento de coleta e gamificação, visando engajar os usuários e incentivar práticas sustentáveis. A solução contribui não apenas para a melhoria da eficiência logística da coleta seletiva, mas também para a valorização do trabalho dos catadores e a redução dos impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado de resíduos.

2. Trabalhos e Tecnologias Correlatas

O aumento expressivo da geração de resíduos sólidos urbanos nas últimas décadas tem exigido novas abordagens para sua gestão. A coleta seletiva tem ganhado destaque como

¹Recycle++ está disponível no GitHub: <https://github.com/recycleplusplus>

²Este vídeo apresenta a iniciativa: <https://www.youtube.com/watch?v=ScrGuJ0CofA>

prática essencial para reduzir o impacto ambiental do descarte inadequado e promover o reaproveitamento de materiais recicláveis. A coleta seletiva domiciliar surge como uma estratégia promissora. Ela facilita o descarte correto por parte da população e promove a integração dos agentes responsáveis pela triagem e coleta, como catadores e cooperativas.

O interesse pelo uso de aplicações tecnológicas voltadas à gestão de resíduos apresenta um grande crescimento. A Tabela 1 sumariza aplicações existentes e suas funcionalidades. No Brasil, aplicativos como Cataki, Reciclaê! e DescarteAqui³ se destacam por propor modelos acessíveis de conexão entre esses doadores, catadores e organizações de coleta. Contudo, muitas dessas ferramentas apresentam limitações técnicas relevantes: ausência de recursos para roteirização inteligente; aplicação restrita de gamificação, que poderia estimular o engajamento dos usuários; e a baixa integração multiplataforma, que compromete a acessibilidade em diferentes dispositivos. Essas lacunas evidenciam a necessidade de soluções mais completas, integradas e escaláveis.

Tabela 1. Comparação taxonômica entre aplicações de reciclagem

Funcionalidades	Cataki	Rota de Reciclagem	Recicla Aí	Proposta: Recycle++
Facilita o processo de reciclagem	✓	✓	✓	✓
Utiliza sistema de solicitações coletivas	✗	✗	✓	✓
Exibe informações sobre os coletores	✓	✗	✓	✓
Permite agendar coletas	✓	✗	✗	✓
Integra catadores e usuários	✓	✓	✗	✓
Exibe geolocalização em tempo real	✓	✓	✗	✓
Geolocalização gratuita e adaptável (OSRM)	✗	✗	✗	✓
Tem chat de comunicação entre doador e coletor	✗	✗	✗	✓
Possui controle de catadores	✓	✓	✓	✓

Dentre os principais desafios técnicos enfrentados na coleta seletiva porta a porta está a logística de roteamento. Os coletores precisam atender a diversos pontos da cidade utilizando recursos limitados, o que exige um planejamento eficiente para reduzir o tempo e o custo das operações. O Problema de Roteamento de Veículos (*Vehicle Routing Problem* – VRP) surge como um modelo matemático amplamente adotado para solucionar esse tipo de demanda [Braekers et al. 2016]. O VRP é uma generalização do problema do caixeiro viajante, voltado à definição de rotas mais eficientes para atender múltiplos destinos com base em variáveis como distância, tempo, capacidade dos veículos e janelas de tempo específicas. O VRP é classificado como um problema computacionalmente difícil (NP-difícil), sendo abordado por meio de heurísticas e ferramentas que viabilizam sua aplicação [Braekers et al. 2016].

O VRP se mostra especialmente útil no contexto da coleta seletiva urbana, onde fatores como a dispersão geográfica dos doadores e as restrições de horário para coleta influenciam diretamente na eficiência do serviço. Aplicando VRP nesse contexto, o Recycle++ utiliza a ferramenta *Open Source Routing Machine* (OSRM) para o cálculo de rotas otimizadas. Essa biblioteca de código aberto gera trajetos curtos e rápidos com base em redes rodoviárias urbanas. A OSRM permite ao coletor planejar percursos mais eficien-

³Aplicativos *Cataki* (cataki.org), *Reciclaê!* (institutolegado.org/blog/) e *DescarteAqui* (play.google.com/store/apps/details?id=com.descarte.aqui&hl=pt_BR).

tes, considerando a localização dos doadores, os tipos de resíduos, o volume aproximado e os horários disponíveis para a coleta. Essa abordagem permite a redução dos custos operacionais e um aumento significativo da produtividade diária dos coletores.

Motor de Roteamento de Alto Desempenho (OSRM). O OSRM foi feito para calcular rotas utilizando heurísticas em redes rodoviárias utilizando os mapas do OpenStreetMap. Ele disponibiliza serviços complementares como o serviço de tabela, que calcula de forma eficiente matrizes de distâncias, tempos de viagem entre múltiplos pontos de origem e destino. O serviço de “matching” (correspondência de mapa) alinha coordenadas GPS a uma rede rodoviária, corrigindo imprecisões e identificando a rota mais provável que foi percorrida. O serviço “Trip” otimiza a ordem de visita de múltiplos destinos, buscando a solução mais curta para o Problema do Caixeiro Viajante [Luxen and Vetter 2011].

O funcionamento do OSRM⁴ pode ser compreendido em duas fases. No pré-processamento, os dados brutos do OpenStreetMap são transformados em um grafo de roteamento otimizado. Algoritmos como Contraction Hierarchies (CH) são empregados para acelerar drasticamente as consultas de rota subsequentes, por meio da extração da rede rodoviária, definição de atalhos e criação de estruturas de dados hierárquicas. O motor de roteamento entra na segunda fase, atuando como um servidor de consultas. Ele fica pronto para receber requisições, geralmente via API HTTP, e, utilizando os dados pré-processados, encontra o caminho mais curto ou mais rápido, conforme o perfil configurado, entre os pontos especificados. O projeto é de código aberto e possui aplicações em navegação para motoristas e pedestres e planejamento de rotas logísticas, ajudando a reduzir custos e tempo operacional de frotas [Luxen and Vetter 2011].

Aspectos de Gamificação, Desenvolvimento e Comunicação. É necessário considerar estratégias que aumentem a participação dos usuários na coleta seletiva. Em [Oliveira 2020] os autores relatam o potencial da gamificação para transformar a relação entre os cidadãos e a reciclagem. A gamificação tem se mostrado uma ferramenta eficaz para promover o engajamento. Mecânicas típicas de jogos (como pontos, *rankings* e desafios) em contextos ambientais podem motivar comportamentos sustentáveis e recorrentes.

O Recycle++ utiliza a linguagem JavaScript. Os aplicativos do coletor e do doador foram construídos com React Native, uma biblioteca baseada em JavaScript, que permite criar aplicativos nativos para Android e iOS a partir de um código-fonte. Foi utilizado o Expo⁵, uma plataforma com ferramentas para facilitar a criação, o teste e a publicação de aplicativos em React Native. Essa funcionalidade torna o ciclo de testes mais rápido, prático e acessível, especialmente durante a prototipagem e validação com usuários.

A comunicação entre os aplicativos e a base de dados é gerenciada pelo Firebase, uma plataforma que atua como o *backend* da aplicação. O Firebase fornece uma infraestrutura escalável, permitindo que o sistema funcione sem a necessidade de um servidor tradicional próprio, o que reduz custos operacionais e acelera o processo de desenvolvimento. O Firebase oferece recursos como armazenamento, hospedagem, notificações *push* e funções em nuvem, permitindo automatizar processos de *backend* com segurança. Com isso, é possível notificar coletores e atualizar painéis de gestão em tempo real, conforme as ações no aplicativo.

⁴Projeto OSRM: <https://project-osrm.org/>

⁵Plataforma Expo: docs.expo.dev

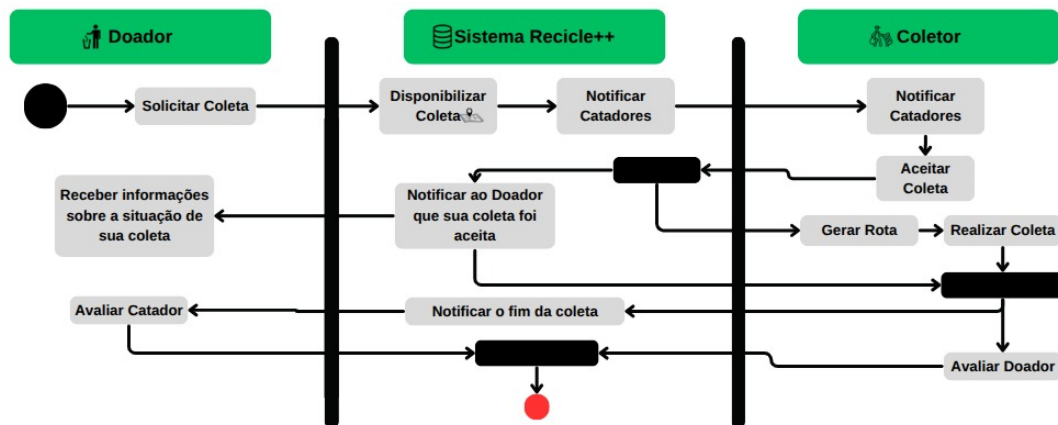


Figura 1. Exemplo da interface do aplicativo com o mapa interativo.

3. Aplicação Proposta: Recycle++

A solução Recycle++ foi desenvolvida para conectar cidadãos dispostos a doar materiais recicláveis a catadores e cooperativas de coleta seletiva. A Figura 1 mostra seus módulos e funcionamento. A aplicação opera como uma plataforma de gerenciamento e otimização da logística de coleta, utilizando tecnologias para facilitar e agilizar o processo, além de oferecer uma camada de gestão dos dados relacionados às operações dos catadores, doadores e administradores. Um dos principais diferenciais do Recycle++ é o uso do OSRM para o cálculo de rotas otimizadas., permitindo a definição de trajetos mais curtos.

A infraestrutura do sistema é mantida por meio do *Firestore*, um serviço de banco de dados em tempo real da plataforma *Firebase*, que fornece gratuitamente recursos essenciais como leitura, escrita, autenticação e hospedagem, especialmente em fases iniciais do projeto. Isso torna a aplicação acessível, escalável e de fácil manutenção, mesmo para equipes de desenvolvimento reduzidas.

A Figura 2 mostra exemplos de telas do Recycle++. O sistema possui três visões: a dos coletores, a dos doadores, e a dos gestores (*manager*). Este ambiente administrativo é responsável pelo credenciamento e monitoramento dos catadores, além de oferecer ferramentas para acompanhar, em tempo real, dados estatísticos das coletas em diferentes regiões. Essa abordagem torna o Recycle++ uma solução completa de gerenciamento de dados operacionais, que pode subsidiar políticas públicas de reciclagem, planejar a expansão do serviço e gerar relatórios para entidades parceiras.

4. Conclusão

A aplicação desenvolvida está disponível para testes no GitHub. Nesse ambiente, os interessados podem acessar todos os arquivos necessários, incluindo a configuração com Docker, o que facilita a replicação do ambiente utilizado pelos desenvolvedores e garante uma experiência de uso mais fiel. A expectativa é de que o Recycle++ possa ser adaptado e aplicado em diferentes cidades, contribuindo de forma significativa para otimizar a coleta seletiva e melhorar o fluxo de resíduos recicláveis.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, da Fundação de Am-

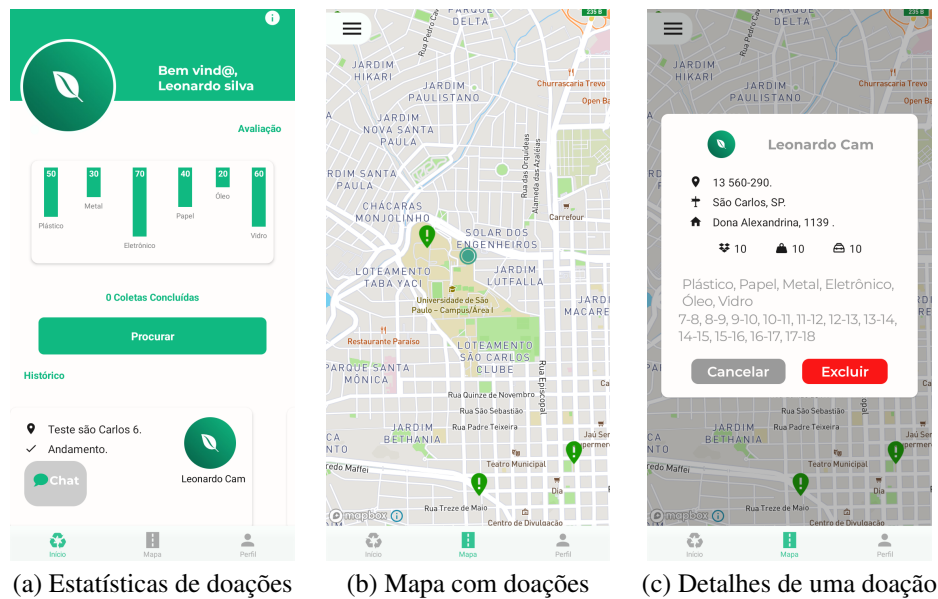


Figura 2. Recicle++: Exemplo de funcionalidades para o coletor.

paro à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP – proc. #2024/13328-9 e #2024/15430-5), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – proc. #133021/2025-4), e da Universidade de São Paulo (PRPI 1032, proc. #207).

Referências

- ABREMA (2023). Índice de sustentabilidade da limpeza urbana - islu 2023. <https://tododia.com.br/brasil-mundo/lixo- apenas-147-da-populacao-brasileira-tem-coletiva-seletiva-porta-a-porta>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- Bel, G. and Bühler, J. (2024). The effect of door-to-door on separate collection of plastic packaging: Evidence from catalonia. *Environmental Economics and Policy Studies*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10018-024-00428-x>.
- Besen, G. R., Andriguetto Filho, J. M., and Souza, D. P. d. (2023). Avaliação da coleta seletiva por meio de indicadores de sustentabilidade em cidades brasileiras. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 62:69–86. DOI: 10.5380/dma.v62i0.80790.
- Braekers, K., Ramaekers, K., and Nieuwenhuyse, I. V. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 99:300–313.
- Ienco, T. (2020). O brasil gerou 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (rsus) em 2018. <https://bit.ly/3kNApd5>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- Lopes, I. C. (2013). Gestão dos resíduos sólidos urbanos no rio grande do sul: panorama com base no sistema nacional de informações sobre saneamento. Dissertação de mestrado, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental.
- Luxen, D. and Vetter, C. (2011). Real-time routing with openstreetmap data. In *Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (GIS '11)*, pages 513–516. ACM. DOI: <https://doi.org/10.1145/2093973.2094062>.
- Oliveira, F. C. d. (2020). *Desenvolvimento de um aplicativo multiplataforma, gamificado e colaborativo "DescarteAqui" na área de resíduos sólidos*. PhD thesis, Universidade Federal de Pernambuco.
- Timlett, R. E. and Williams, I. D. (2008). Public participation and recycling performance in england: a comparison of tools for behaviour change. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(4):622–634. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.08.003>.