CRIAÇÃO, IMPLEMENTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO DE UM SISTEMA APRIMORADO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS VOLUMOSOS (CATA-TRECO): UMA EXPERIÊNCIA BRASILEIRA

Isis Alves[(1)]
Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). Atua na Divisão de Gestão Ambiental da Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, MG, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1357-3142.
Myllena Isabella Gonçalves Oliveira[(2)]
Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). Atua na Divisão de Gestão Ambiental da Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, MG, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-3549-2217.
Rafael de Oliveira Tiezzi[(3)]
Professor do Centro de Ciências da Natureza da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). Autor responsável pela apresentação do trabalho no evento. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8682-7807.

Endereço[(1)]**:** Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Campus Poços de Caldas – Rodovia José Aurélio Vilela, 11999 (BR 267, Km 533) - Cidade Universitária - Poços de Caldas - MG - CEP: 37715-400 - Brasil - Tel: +55 (35) 3697-4600 - e-mail: isisalvesamb@gmail.com.

RESUMO

A gestão de resíduos volumosos é um gargalo crítico no Sul Global devido à escassez de dados e limitações logísticas. Este estudo avaliou a reestruturação do sistema municipal de coleta em Poços de Caldas, Brasil, integrando otimização de rotas, governança baseada em dados e economia circular. A metodologia compreendeu o diagnóstico de linha de base, a digitalização dos fluxos de agendamento e o monitoramento em tempo real, além da triagem direcionada com cooperativas de catadores. Os resultados revelaram que a transição digital eliminou assimetrias informacionais, elevando a capacidade de atendimento de 12 para 40 solicitações diárias, um incremento operacional de 233%, mitigando o tempo de resposta e descartes irregulares. Em 2024, o sistema consolidou o manejo de 112 toneladas mensais, obtendo 20% de desvio de aterro via reciclagem e preparação para reuso de componentes madeireiros e metálicos de mobiliários obsoletos. O isolamento estratégico do escopo, delegando a linha branca para a logística reversa preexistente, otimizou recursos públicos. Conclui-se que soluções integradas de baixo custo e alta rastreabilidade digital são escaláveis, oferecendo um modelo empírico replicável para alinhar municipalidades em desenvolvimento às metas globais de economia circular.
PALAVRAS-CHAVE: Resíduos volumosos, Gerenciamento de resíduos urbanos, Economia circular.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, a urbanização acelerada e as mudanças nos padrões de consumo têm intensificado significativamente a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) em todo o mundo, transformando a gestão desses fluxos em um dos desafios ambientais mais complexos e prementes da contemporaneidade (Ferreira; Barros, 2021; Araldi et al., 2021; Somplák et al., 2019). Este panorama manifesta-se com maior severidade em economias em desenvolvimento, onde a expansão urbana desordenada satura a infraestrutura de limpeza pública, comprometendo a sustentabilidade urbana e a qualidade de vida local. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010, estabeleceu diretrizes voltadas à redução, reutilização, reciclagem e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Brasil, 2010). Contudo, barreiras institucionais e limitações técnico-operacionais persistem, especialmente em municípios de pequeno a médio porte, resultando em cenários onde mais de 41% dos resíduos coletados ainda recebem destinação inadequada (ABREMA, 2024).

Dentre os diferentes componentes do fluxo de resíduos municipais, os resíduos volumosos (bulky waste) representam um gargalo crítico e frequentemente negligenciado ou subexplorado pelas autoridades públicas (Chung et al., 2010). Definidos de modo geral como materiais descartados que excedem o peso ou as dimensões físicas compatíveis com os recipientes e sistemas de coleta domiciliar convencional (Curran et al., 2007), os resíduos volumosos englobam tipicamente móveis obsoletos, colchões, estofados, resíduos madeireiros e eletrodomésticos de grande porte (Cole et al., 2013). A ausência de estratégias específicas e rotas dedicadas para

o manejo desses resíduos resulta invariavelmente no descarte irregular em vias públicas, terrenos baldios e áreas ambientalmente sensíveis, gerando impactos ambientais, sanitários e severos passivos estéticos que demandam custos elevados com limpezas públicas corretivas de caráter emergencial (Ito; Colombo, 2019).

Sob a ótica da transição para uma Economia Circular, a literatura científica internacional evidencia que a fração de resíduos volumosos possui um potencial de reaproveitamento material massivo que permanece subutilizado (Alexander et al., 2009). Estudos baseados em Análise de Ciclo de Vida (ACV) e avaliações socioeconômicas confirmam que estratégias integradas voltadas ao desvio desses resíduos de aterros, priorizando canais de preparação para reuso e reciclagem de materiais como madeira, metais e espumas, geram expressivos créditos ambientais por meio da mitigação de emissões de gases de efeito estufa e da substituição de matérias-primas virgens (Samson-Bręk; Gabryszewska, 2023; Towa et al., 2020). O processamento de componentes de madeira de móveis obsoletos para a produção de aglomerados ou recuperação energética, por exemplo, reduz drasticamente a pegada de carbono urbana (Larsen et al., 2012). No entanto, a literatura internacional revela-se polarizada: enquanto avanços recentes focam em modelagens matemáticas complexas de rotas logísticas (Somplák et al., 2019), em sistemas inteligentes de classificação por visão computacional e deep learning (Bihler et al., 2026; Wang et al., 2020) ou nas dinâmicas de mercados informais transfronteiriços (Ramusch et al., 2015), há uma escassez crítica de estudos que relatem a estruturação, ou reestruturação, empírico-operacional de sistemas de coleta pública municipal em cidades médias situadas no Sul Global.

Esta lacuna científica é ainda mais pronunciada no cenário brasileiro, onde dados empíricos detalhados acerca da composição, geração e reestruturação logística de serviços públicos para resíduos volumosos são virtualmente inexistentes. Ademais, o escopo internacional frequentemente aglutina os mobiliários tradicionais aos resíduos eletroeletrônicos (linha verde – telefonia e computação) e eletrodomésticos de grande porte (linha branca) em um único fluxo de gerenciamento (Cole et al., 2013; Curran et al., 2007). Todavia, em países em desenvolvimento, os componentes eletrônicos, de linha verde, e de eletrodomésticos grandes, de linha branca, sofrem uma dinâmica socioeconômica e uma pressão de captação mercadológica distintas, sendo absorvidos precocemente por fluxos informais, cooperativas de catadores ou por sistemas de logística reversa privados e setoriais regulamentados por acordos específicos da PNRS, isto acontece basicamente porque os resíduos eletrônicos e eletrodomésticos possuem material de bastante valor agregado para ser vendido como reciclável. Consequentemente, o desenvolvimento de sistemas públicos que foquem estritamente na fração de menor valor de mercado imediato, como colchões, sofás, camas, armários, mesas, cadeiras, cômodas, penteadeiras e criados-mudos e demais itens do segmento moveleiro e estofado configura um desafio operacional e logístico particular que necessita de validação empírica documentada.

Para mitigar essas limitações, o município de Poços de Caldas, localizado no estado de Minas Gerais, promoveu uma completa reestruturação do seu arranjo operacional de manejo, instituindo o serviço municipal de coleta agendada "Cata-Treco". Até o ano de 2019, o gerenciamento desses materiais na localidade operava de maneira fragmentada e ineficiente, resultando no encaminhamento direto de volumosos recicláveis e não-recicláveis para a disposição conjunta com a fração orgânica domiciliar, acelerando o esgotamento precoce da capacidade volumétrica e da vida útil do aterro sanitário receptor social (Souza; Gallardo, 2020; Cabral; Barbosa, 2022). A intervenção realizada superou esse paradigma por meio de um modelo integrado de modernização, que englobou a digitalização do sistema de agendamento de coletas pelos munícipes, a otimização de rotas logísticas urbanas, o treinamento técnico das equipes e, fundamentalmente, a celebração de termos de cooperação institucional para a triagem, doação e destinação de componentes de metal, estofado e madeira (Sekito et al., 2002).

Diante do exposto, este artigo documenta a experiência de Poços de Caldas-MG, detalhando as estratégias logísticas adotadas, os gargalos institucionais superados e o desempenho alcançado pelo modelo. Busca-se, assim, preencher a lacuna da literatura sobre resíduos volumosos no Brasil com um modelo empírico de gestão compartilhada e de avaliação técnico-econômica de instalações de triagem (Medina-Mijangos et al., 2021), viável e replicável em municipalidades de pequeno e médio porte de outros países em desenvolvimento.

OBJETIVOS

Objetivo geral

O presente artigo tem como objetivo descrever e analisar o processo de concepção, implementação e consolidação operacional do sistema de gerenciamento de resíduos volumosos no município de Poços de Caldas-MG, Brasil.

Objetivos específicos

- Realizar um diagnóstico operacional de linha de base do cenário pretérito de manejo dos resíduos volumosos no município, identificando os principais pontos críticos, gargalos logísticos e assimetrias informacionais que limitavam a eficiência do serviço.
- Modernizar e digitalizar o fluxo de atendimento, substituindo o método de agendamento manual por uma plataforma digital, com o intuito de garantir a rastreabilidade ponta a ponta e otimizar dinamicamente as rotas de coleta via geoprocessamento.
- Implementar cadeias de valorização de materiais por meio de acordos institucionais de cooperação com cooperativas de catadores locais, visando o desvio de componentes metálicos e madeireiros de mobiliários obsoletos do aterro sanitário municipal.
- Promover a inovação social e a extensão da vida útil de bens através do projeto "Doar Faz Bem para o Coração", segregando e destinando mobiliários em condições adequadas de uso para famílias em situação de extrema vulnerabilidade social.
- Quantificar e avaliar os indicadores de desempenho operacionais, ambientais e socioeconômicos do novo sistema implantado, comparando os resultados de capacidade de atendimento, tempo de resposta e taxas de desvio de aterro com o modelo anterior.
- Prover um modelo empírico de gestão compartilhada que seja viável, escalável de baixo custo e replicável para outras municipalidades de pequeno e médio porte em países em desenvolvimento.

METODOLOGIA

Área de estudo e delineamento de pesquisa

O presente estudo foi desenvolvido na Divisão de Zeladoria da Região Oeste, setor vinculado à Secretaria Municipal de Serviços Públicos da Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil (Figura 1). A referida divisão é responsável pelas atividades de limpeza urbana e pelo gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) nas regiões oeste, leste e central do município, o que inclui a operacionalização do serviço municipal de coleta de resíduos volumosos, popularmente denominado “Cata-Treco”. Antes da reestruturação do sistema, o escopo do serviço limitava-se estritamente às atividades básicas de coleta, transporte e destinação final de resíduos volumosos (compostos predominantemente por mobiliários obsoletos, colchões e componentes de grandes dimensões), os quais não eram contemplados pelo sistema de coleta domiciliar convencional.

No Brasil não há definição legal única de porte municipal: cada órgão adota critérios próprios, conforme a finalidade (planejamento urbano, repasse de verbas, saúde ou assistência social). O critério mais difundido é o do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), baseado no número de habitantes, que classifica como pequeno porte os municípios com até 50.000 habitantes, subdivididos em pequeno porte I (até 20.000) e II (de 20.000 a 50.000) e como médio porte os que possuem entre 50.001 e 100.000 habitantes, faixa que pode chegar a 250.000 ou 500.000 habitantes em análises de redes urbanas. Para efeito de padronização, este estudo considera de pequeno e médio porte os municípios com população entre 20.000 e 500.000 habitantes.

Poços de Caldas é uma cidade de aproximadamente 165.000 habitantes (IBGE, 2022). Localiza-se no estado de Minas Gerais (MG) na fronteira com o estado de São Paulo. Situa-se na Serra da Mantiqueira, a uma altitude média de 1200 metros. É uma cidade com uma presença importante de indústrias, tem o turismo como um dos seus pontos econômicos fortes, além de ser polo regional e ter uma atividade comercial, também, muito significativa.

A pesquisa-ação foi conduzida entre os anos de 2022 e 2024, adotando uma abordagem aplicada por meio do método de estudo de caso. O delineamento experimental estruturou-se em quatro etapas sequenciais:

1. Diagnóstico operacional do sistema vigente;
2. Reestruturação logística e gerencial;
3. Implementação de melhorias tecnológicas; e
4. Avaliação quantitativa e qualitativa do desempenho do novo modelo implantado.

A coleta de dados primários envolveu o monitoramento e a observação direta das rotinas de campo, auditoria de documentos administrativos, levantamento de registros operacionais internos e a consolidação de indicadores de desempenho do serviço.

A modelagem do sistema e a estrutura metodológica foram balizadas pelos princípios e diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sob amparo da Lei Federal nº 12.305/2010. Focou-se, prioritariamente, no cumprimento das metas de gestão ambientalmente adequada, na recuperação de materiais recicláveis, na

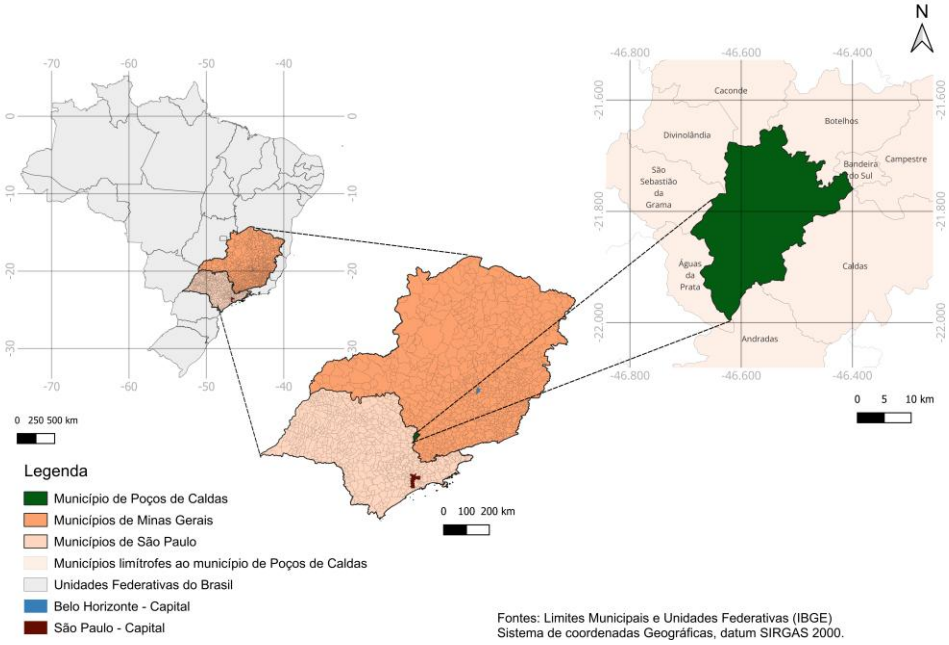
promoção da responsabilidade compartilhada e no fortalecimento de circuitos fechados alinhados à Economia Circular.

Os principais indicadores operacionais monitorados e avaliados ao longo do estudo compreenderam:

- Capacidade diária de atendimento do sistema;
- Flutuação e densidade da demanda de solicitações;
- Tempo médio de resposta ao usuário (lead time operacional);
- Eficiência e otimização logística das rotas;
- Sazonalidade e ocorrência de pontos de descarte irregular na malha urbana;
- Potencial de triagem e reaproveitamento de materiais de menor valor comercial agregado;
- Taxa de cobertura operacional e espacial do serviço municipal.

Os dados coletados foram tabulados e submetidos a métodos estatísticos descritivos e análises comparativas. Esse procedimento permitiu mapear com precisão os gargalos operacionais anteriores, quantificar o ganho de eficiência do sistema modificado e mensurar os impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes do novo arranjo de gestão.

Figura 1 - Localização do Município de Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil



Fonte: Autores (2026).

Diagnóstico do sistema de gerenciamento anterior

O diagnóstico do cenário pretérito de manejo dos resíduos volumosos baseou-se em uma abordagem qualitativo-operacional. Essa etapa envolveu o rastreamento direto das atividades de campo, a condução de entrevistas abertas com gestores e operadores do setor, além do levantamento histórico de registros administrativos.

A avaliação inicial concentrou-se na estrutura organizacional do serviço, dimensionando a disponibilidade de força de trabalho, as rotinas operacionais vigentes, o estado de conservação dos equipamentos de proteção, a adequação técnica da frota de veículos, os canais de comunicação interna e os procedimentos finais de disposição dos materiais. Subsequentemente, realizou-se o acompanhamento das atividades para avaliar a frequência de atendimento, o nível de otimização das rotas, o tempo de latência entre o chamado e o recolhimento, e a eficiência logística global.

A consolidação desse diagnóstico fundamentou-se em quatro abordagens metodológicas complementares:

I. Realização de entrevistas técnicas com o corpo gestor e com as equipes operacionais de campo;

II. Observação in loco (auditoria de campo) das rotas percorridas e das dinâmicas de carga e descarga dos resíduos;
III. Análise documental de relatórios administrativos e históricos de ordens de serviço;
IV. Mensuração indireta de indicadores de desempenho do fluxo de resíduos.

As entrevistas formais foram aplicadas no estágio inicial da pesquisa, servindo de base para o direcionamento das observações de campo e das análises documentais, as quais ocorreram de forma subsequente e integrada. Essa avaliação diagnóstica teve como propósito central identificar os principais pontos críticos operacionais que limitavam a eficiência do serviço. Para tanto, os dados foram categorizados segundo os seguintes eixos temáticos:

- Capacidade operacional e taxa de ociosidade no atendimento;
- Grau de planejamento e roteirização da frota de coleta;
- Tempo de execução dos serviços por setor urbano;
- Nível de padronização dos procedimentos operacionais padrão;
- Mecanismos de gerenciamento, armazenamento e rastreabilidade de dados históricos;
- Índice de desvio de materiais potencialmente recicláveis ou reutilizáveis para aterros;
- Eficiência dos fluxos de comunicação transversal entre os setores administrativo e operacional;
- Dependência de fluxos de trabalho e registros exclusivamente manuais;
- Existência (ou ausência) de ferramentas digitais e sistemas baseados em computação móvel para monitoramento e controle operacional.

Desenvolvimento do sistema aprimorado de gerenciamento

Apoiado nos gargalos evidenciados no diagnóstico, projetou-se um modelo reestruturado de gerenciamento de resíduos volumosos. As premissas do novo arranjo centraram-se na maximização da eficiência do serviço, na otimização de rotas logísticas, na mitigação de impactos ambientais locais e na consolidação de cadeias de valorização e reaproveitamento dos materiais captados.

De forma prioritária, instituiu-se um programa permanente de segurança ocupacional e medicina do trabalho, formulado em estreita cooperação com o setor especializado do município. Este programa estabeleceu protocolos rígidos para o fornecimento, higienização, substituição periódica e fiscalização do uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados ao manejo de cargas pesadas.

Na sequência, estruturou-se o plano de readequação operacional focado no ganho de eficiência dos ativos e na otimização do uso da frota disponível. O planejamento definiu novos requisitos técnicos mínimos para os veículos de coleta, reorganizou a escala de trabalho das equipes operacionais e manutenção dos caminhões.

Para mitigar a perda de informações e assegurar a rastreabilidade ponta a ponta dos fluxos, o antigo método de agendamento manual foi substituído por uma plataforma digital de gerenciamento de dados. Esse sistema parametrizou o registro de variáveis fundamentais, tais como:

- Identificação do cidadão solicitante;
- Geocodificação e validação do endereço de coleta;
- Cronograma e data agendada para o recolhimento;
- Descrição qualitativa e quantitativa dos resíduos informados;
- Status operacional em tempo real das solicitações.

A transição digital envolveu a emissão de ordens de serviço eletrônicas via dispositivos móveis integrados, os quais foram distribuídos às equipes operacionais que, até então, careciam de ferramentas de computação móvel. O ecossistema digital integrou um canal de comunicação bidirecional e em tempo real entre a central administrativa e as equipes de campo, utilizando grupos de mensagem instantânea dedicados.

A roteirização logística da frota passou a ser gerada dinamicamente com base na distribuição espacial da demanda urbana, na minimização das distâncias percorridas e na redução dos tempos de deslocamento não-produtivos. O planejamento diário das rotas de coleta foi associado à clusterização territorial das solicitações vigentes.

Ademais, estabeleceu-se um fluxo logístico dedicado para o desvio de frações volumosas recicláveis, com ênfase em componentes metálicos e madeireiros, direcionando-as formalmente ao sistema municipal de coleta seletiva

e às cooperativas de catadores locais. Essa integração foi consolidada por meio da celebração de acordos institucionais de cooperação e termos de parceria mútua.

Complementarmente, incorporou-se ao escopo de gestão a iniciativa de inovação social intitulada “Doar Faz Bem para o Coração, o Seu e o de Quem Precisa”, voltada à extensão da vida útil de bens e mobiliários em condições adequadas de uso. Os itens triados como passíveis de reuso durante a etapa de agendamento digital ou de coleta de campo eram segregados, armazenados temporariamente no Ecoponto Municipal e, posteriormente, doados a famílias em situação de extrema vulnerabilidade social, previamente cadastradas nos programas de assistência do município.

Implementação e operacionalização do sistema aprimorado

A fase de transição e operação definitiva compreendeu a reestruturação dos fluxos administrativos, o treinamento intensivo das equipes, a digitalização dos processos de campo e a incorporação sistemática de tecnologias de geoprocessamento e comunicação às rotinas diárias do serviço.

Para a adequação da frota, foram elaborados Termos de Referência técnicos visando à contratação de veículos especializados para a coleta de resíduos volumosos urbanos. A frota permanente passou a contar com 6 (seis) caminhões de carroceria aberta (tipo toco), equipados com sobretampas dobráveis e dimensões adaptadas à circulação e manobra em vias urbanas congestionadas ou de geometria restrita.

Simultaneamente, desenvolveram-se bancos de dados estruturados e planilhas automatizadas para a centralização das demandas, o cálculo automatizado dos indicadores logísticos e o aumento da segurança dos dados operacionais. Implementou-se um protocolo de indexação sequencial única para cada ordem de serviço, garantindo o rastreamento histórico de todo o processo.

O corpo técnico e operacional, composto por auxiliares administrativos, motoristas, coletores e estagiários de engenharia/gestão, foi submetido a um programa de capacitação técnica obrigatório, abordando os seguintes tópicos:

- Operação e alimentação de dados nos sistemas digitais móveis;
- Triagem qualitativa rápida de materiais no ato da coleta;
- Navegação urbana assistida por ferramentas de posicionamento global (GPS);
- Protocolos formais de comunicação operacional via aplicativo de mensagem;
- Diretrizes de segurança ocupacional e ergonomia no manuseio de grandes volumes.

Os treinamentos técnicos concentraram-se em um período inicial de 10 (dez) dias de instrução teórica e prática, seguidos por 15 (quinze) dias de operação em campo sob supervisão técnica direta.

A distribuição dos terminais móveis de comunicação às frentes de trabalho viabilizou a transmissão de dados em tempo real. As ordens de serviço eletrônicas eram despachadas de maneira fracionada para os smartphones das equipes, detalhando o itinerário otimizado, o nome do usuário, a tipologia do resíduo volumoso e a janela horária pactuada.

Ao término de cada atendimento logístico, a equipe de campo realizava a baixa da ordem de serviço no sistema, anexando comprovantes fotográficos georreferenciados diretamente nos canais de monitoramento como validação física do serviço executado. Em cenários de inconformidade, nos quais os resíduos volumosos não se encontravam dispostos na calçada ou o usuário estava ausente na janela agendada, instituiu-se um protocolo rigoroso de registro fotográfico compulsório da calçada vazia para fins de controle administrativo e comprovação da tentativa de atendimento.

Após a estabilização do sistema aprimorado, estruturou-se uma robusta análise comparativa cruzando o modelo anterior e o novo sistema de gerenciamento, considerando indicadores relacionados ao desempenho operacional, logística de coleta, gerenciamento de materiais e organização das atividades do serviço. Além disso, foram analisadas as inovações operacionais e tecnológicas incorporadas ao novo modelo de gerenciamento, bem como sua aplicação no contexto das atividades desenvolvidas pelo serviço.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estruturação do sistema de gestão de resíduos volumosos

O estudo foi desenvolvido na Divisão de Zeladoria da Região Oeste de Poços de Caldas (MG), selecionada por sua relevância operacional na gestão de resíduos volumosos e pelas dificuldades operacionais encontradas nessa divisão durante a fase diagnóstica. A análise diagnóstica revelou um sistema caracterizado por baixa eficiência operacional, limitada integração entre setores, ausência de digitalização e informatização e fragilidade na padronização dos fluxos de trabalho. Esse cenário inicial de desinformação quantitativa assemelha-se às advertências feitas por Chung et al. (2010), que demonstram como as autoridades de limpeza urbana frequentemente assumem de forma errônea que conhecem o fluxo de resíduos volumosos ou que ele é insignificante, resultando em decisões de planejamento inadequadas baseadas em estatísticas oficiais distorcidas.

Essas condições resultavam em baixa previsibilidade das operações, acúmulo de demandas reprimidas e incentivo indireto ao descarte irregular de resíduos volumosos em áreas públicas, configurando não conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Brasil, 2010). Tal cenário evidencia a persistência de desafios estruturais comuns a municípios de pequeno e médio porte, nos quais limitações administrativas e logísticas impactam diretamente a eficiência de serviços urbanos essenciais. O descarte irregular de mobiliário, conforme avaliado por Curran et al. (2007) e Alexander et al. (2009), representa um desafio estrutural complexo, gerando altos custos de mitigação que superam o investimento necessário para a implantação de redes públicas centralizadas ou parcerias estáveis com o terceiro setor.

A reestruturação do sistema foi concebida com base em uma abordagem integrada, combinando reorganização operacional, digitalização e informatização dos fluxos, capacitação de equipes e adequação da infraestrutura. A literatura aponta que sistemas fragmentados de gestão de resíduos volumosos tendem a apresentar baixa eficiência e elevados custos operacionais, especialmente quando não há integração entre coleta, monitoramento e planejamento (Camolezi, 2023). Essa necessidade de remodelar as redes logísticas integradas para mitigar o desperdício de recursos e otimizar as facilidades de transferência local é corroborada pela modelagem espacial de fluxos desenvolvida por Somplák et al. (2019), indicando que a descentralização e o planejamento de rotas baseados em dados espaciais são cruciais para a consolidação de infraestruturas eficientes de gerenciamento municipal.

Os resultados indicam que a transição para um modelo integrado possibilitou maior racionalização das demandas, melhor distribuição de recursos e aumento da capacidade de resposta do serviço. Observou-se também redução de ineficiências associadas à falta de priorização e à ausência de rastreabilidade das solicitações. Esses achados reforçam que a eficiência de sistemas municipais de resíduos não depende apenas de infraestrutura física, mas também de governança, planejamento e capacidade institucional (Bustamante, 2026; Couto; Querino, 2026). Sob a ótica da transição para uma economia circular, os ganhos institucionais observados alinham-se ao modelo de avaliação socioeconômica e técnica proposto por Medina-Mijangos et al. (2021). Os autores ressaltam que os benefícios totais do manejo de resíduos volumosos residem na capacidade de internalizar externalidades ambientais positivas, convertendo gargalos gerenciais em eficiência de custos operacionais e sociais.

Do ponto de vista crítico, a implementação revelou que a principal limitação inicial não era apenas tecnológica, mas organizacional. A ausência de fluxos padronizados e de critérios de priorização representava um gargalo mais relevante do que a própria limitação de recursos materiais. Esse resultado reforça a necessidade de abordagens sistêmicas na gestão pública de resíduos sólidos urbanos (Sampaio et al., 2026; Callegaro; Luciano, 2025; Pereira; Barbosa, 2025).

Segurança do trabalho e adequação operacional

As condições de trabalho observadas no sistema anterior indicavam exposição recorrente dos servidores a riscos físicos, especialmente durante o manuseio e transporte de resíduos volumosos. Conforme Silva e Furigo (2015), atividades relacionadas à gestão de resíduos sólidos apresentam elevada vulnerabilidade ocupacional, exigindo protocolos permanentes de segurança e prevenção. Por possuírem dimensões físicas complexas e heterogeneidade de materiais, o manuseio manual de mobiliários pesados e colchões sem técnicas apropriadas impõe sobrecarga física severa, uma barreira operacional documentada por Cole et al. (2013) como um dos principais desafios financeiros e de saúde do trabalho enfrentados pelas autoridades locais no Reino Unido.

A implementação do sistema aprimorado incluiu fornecimento sistemático de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), definição de protocolos de substituição e higienização, além da obrigatoriedade de uso durante todas as etapas operacionais. Os resultados indicaram aumento da percepção de segurança entre os trabalhadores e não houve registro de ocorrências relacionadas a incidentes operacionais no período em análise.

Barbosa, Carvalho e Vidal (2020) destacam que estratégias preventivas de segurança do trabalho estão diretamente associadas à melhoria da produtividade e à redução de afastamentos. Nesse sentido, os achados deste estudo corroboram a literatura ao demonstrar que intervenções estruturadas em segurança não apenas reduzem riscos, mas também aumentam a eficiência operacional.

Além da redução da exposição ocupacional aos riscos físicos, as adequações implementadas contribuíram para maior estabilidade operacional das equipes, reduzindo interrupções associadas a condições inadequadas de trabalho e fortalecendo a continuidade do serviço. Observou-se que a padronização do uso de EPIs e a reorganização dos procedimentos operacionais favoreceram maior previsibilidade das atividades de coleta e descarregamento, contribuindo indiretamente para o aumento da eficiência logística do sistema. A padronização física do fluxo também dialoga com os achados clássicos de Sekito et al. (2002), os quais demonstram que a estabilização e a triagem segura na origem reduzem a densidade caótica do fluxo de resíduos volumosos e facilitam o processamento subsequente das frações reutilizáveis e recicláveis.

Além disso, a integração com o setor de Segurança do Trabalho permitiu maior conformidade com normas regulamentadoras e fortalecimento do monitoramento das condições laborais. Nascimento (2017) enfatiza que sistemas de gestão baseados em prevenção e acompanhamento contínuo são essenciais para garantir biossegurança em serviços públicos.

Outro aspecto relevante observado no processo de reestruturação do serviço foi a adequação da frota operacional. A substituição de veículos basculantes e caminhões com cabine fechada por caminhões tipo toco com carroceria aberta e sobretampa dobrável promoveu melhorias significativas nas condições de segurança durante o carregamento e descarregamento dos resíduos volumosos. Além de ampliar a capacidade volumétrica das operações, a nova configuração da frota contribuiu para a redução dos esforços biomecânicos associados ao manuseio manual dos resíduos, favorecendo melhores condições ergonômicas para as equipes operacionais.

Nesse contexto, Esposti, Magrini e Bonoli (2023) destacam que adequações ergonômicas em sistemas de coleta de resíduos sólidos contribuem diretamente para a redução de esforços físicos, riscos ocupacionais e distúrbios musculoesqueléticos entre os trabalhadores. De forma complementar, Ferrão e Moraes (2021) observam que melhorias operacionais relacionadas às atividades de coleta e transporte de resíduos urbanos favorecem simultaneamente a segurança ocupacional e a eficiência logística dos serviços. Assim, os resultados obtidos neste estudo corroboram a literatura ao evidenciar que a reestruturação da frota proporcionou não apenas ganhos de capacidade e desempenho logístico, mas também melhores condições ergonômicas e maior segurança durante as atividades de coleta de resíduos volumosos.

Sendo assim, a redução dos esforços biomecânicos mostra-se especialmente relevante em serviços dessa natureza, nos quais os riscos ergonômicos associados ao manuseio e transporte manual dos materiais podem contribuir significativamente para o adoecimento ocupacional, aumento da sobrecarga física dos trabalhadores e redução da eficiência operacional das atividades de coleta (Barbosa; Carvalho; Vidal, 2020). Essa mudança também proporcionou maior capacidade de carga por viagem, permitindo o transporte de volumes mais expressivos de material, o que contribuiu para a otimização das rotas, redução do número de deslocamentos necessários e ampliação da capacidade de atendimento às solicitações da população. Na literatura internacional, Larsen et al. (2012) reforçam a relevância da adequação física dos caminhões coletores, mapeando como o redesenho dos esquemas de coleta pública na Dinamarca e a seleção de carrocerias compatíveis foram determinantes para conter os custos operacionais de uma fração de resíduos notoriamente heterogênea e volumosa.

Nesse contexto, Hess et al. (2024) destacam que a eficiência dos sistemas de coleta de resíduos sólidos depende diretamente da adequada roteirização e da capacidade operacional dos veículos utilizados, fatores que influenciam significativamente o desempenho logístico e a redução de custos operacionais. De forma complementar, Greco et al. (2023) observam que a otimização das rotas associada ao melhor aproveitamento da capacidade de carga dos veículos contribui para a redução do tempo de deslocamento e aumento da eficiência operacional dos serviços de coleta. Assim, os resultados observados neste estudo corroboram a literatura ao evidenciar que a reestruturação da frota favoreceu simultaneamente ganhos logísticos, ampliação da capacidade operacional e redução de riscos ergonômicos e operacionais previamente identificados.

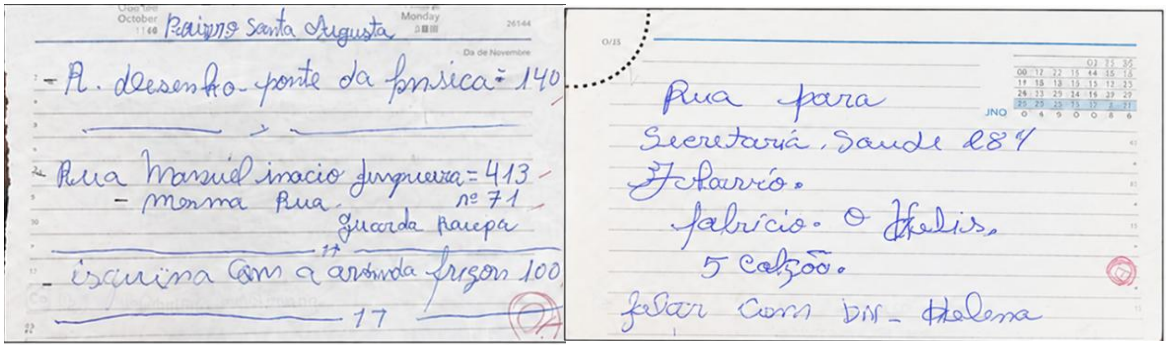
Adicionalmente, a terceirização da frota contribuiu para maior disponibilidade de veículos e redução de interrupções operacionais decorrentes de falhas mecânicas. Campos (2021) aponta que modelos terceirizados

podem aumentar a eficiência da gestão pública ao reduzir custos de manutenção e melhorar a continuidade dos serviços. Entretanto, uma limitação identificada foi a dependência de fornecedores externos, o que pode gerar vulnerabilidade institucional em cenários de restrição contratual ou aumento de custos operacionais (Campos, 2021). Assim, embora eficiente no curto prazo, esse modelo requer mecanismos de governança e controle mais robustos.

Informatização e modernização dos processos

A gestão anterior das solicitações de coleta de resíduos volumosos era baseada em registros manuais em pequenos pedaços de papel, caracterizados por baixa padronização, ausência de rastreabilidade, riscos inerentes de perda, vulnerabilidade física e limitada confiabilidade dos dados (Figura 2). Segundo Santos (2019), a ausência de sistemas informatizados compromete a tomada de decisão e reduz a eficiência administrativa em serviços públicos. Inicialmente, foi implementada uma ficha padronizada de agendamento, representando um avanço parcial na organização dos fluxos. Contudo, a persistência de ordens de serviço manuais ainda limitava a integração entre planejamento e execução.

Figura 2 - Registro documental do agendamento de coleta de resíduos volumosos no método anterior



Fonte: Autores (2026).

A implantação de um sistema informatizado representou uma mudança estrutural significativa. Passaram a ser registrados dados completos dos solicitantes, localização, tipo de resíduo, data de solicitação e status da demanda. Essa base de dados permitiu maior controle operacional e rastreabilidade das informações. Na vanguarda das discussões científicas, o desenvolvimento de sistemas automatizados de classificação, como os baseados em aplicativos móveis e redes neurais convolucionais descritos por Wang et al. (2020), e as análises avançadas de segmentação multiespectral propostas por Bihler et al. (2026), sinalizam que a inteligência de dados móveis é o principal paradigma para transpor as barreiras de identificação e triagem manual em larga escala na engenharia de RSU.

Moura et al. (2022) destacam que sistemas digitais de gestão de resíduos urbanos contribuem para maior eficiência logística e melhor alocação de recursos. Os resultados observados neste estudo confirmam essa tendência, demonstrando melhoria significativa na organização das demandas e na distribuição das equipes. A adoção de dispositivos móveis corporativos e ferramentas digitais de comunicação ampliou a integração entre equipes operacionais e setor administrativo. As ordens de serviço passaram a ser enviadas digitalmente, monitoradas em tempo real e, após a execução, passaram a contar com registros fotográficos instantâneos, ampliando a transparência e reduzindo falhas na comunicação.

Os impactos quantitativos foram expressivos: o tempo médio de atendimento às solicitações foi reduzido de mais de 20 dias para até 2 dias, representando uma redução aproximada de 90%. Além disso, a precisão dos registros operacionais atingiu cerca de 97%, indicando alta confiabilidade do sistema. Os ganhos observados não decorreram exclusivamente da digitalização dos registros operacionais, mas principalmente da redução de assimetrias informacionais entre os setores administrativo e operacional. A disponibilidade de dados em tempo real ampliou a capacidade adaptativa do sistema municipal de coleta, permitindo maior previsibilidade das demandas, otimização dinâmica das rotas e resposta mais eficiente às variações operacionais. Nesse contexto, a informatização passou a atuar não apenas como ferramenta administrativa, mas como mecanismo estruturante de governança operacional e suporte à tomada de decisão baseada em evidências.

Araldi et al. (2021) destacam que a informatização é um dos principais vetores de modernização da gestão de resíduos sólidos urbanos. Os resultados deste estudo reforçam essa afirmação, evidenciando ganhos simultâneos de eficiência, transparência e capacidade de monitoramento. Como limitação, observa-se que a dependência de ferramentas digitais pode gerar desafios em contextos de baixa conectividade ou falhas tecnológicas, exigindo estratégias de contingência para garantir continuidade operacional.

Reestruturação administrativa e otimização logística

A revisão dos Termos de Referência - TRs (documentos necessários para processos licitatórios e aquisição de novos equipamentos e serviços em setores públicos brasileiros) constituiu etapa fundamental para viabilizar a reestruturação do sistema de gestão de resíduos volumosos. Os novos documentos passaram a incorporar maior detalhamento técnico, promovendo melhor alinhamento entre demandas operacionais e processos licitatórios. Nesse sentido, Soares (2021) destaca que a adequada estruturação de TRs é fator determinante para a eficiência de contratações públicas e para o desempenho dos serviços associados.

A ampliação do horário de funcionamento do aterro controlado municipal contribuiu para maior flexibilidade operacional, reduzindo gargalos logísticos e melhorando o fluxo de descarte dos materiais coletados. Essa medida refletiu diretamente na redução de horas extras e na diminuição da sobrecarga das equipes operacionais. Nesse contexto, Olivo, Prietto e Korf (2021) destacam que adequações administrativas e operacionais em sistemas municipais de gestão de resíduos sólidos podem ampliar significativamente a eficiência operacional e fortalecer a racionalização dos recursos públicos. De forma complementar, Silva et al. (2023) observam que os custos logísticos e de transporte representam parcela significativa das despesas operacionais dos serviços de coleta de resíduos, de modo que a otimização dos fluxos operacionais e a redução de deslocamentos desnecessários contribuem diretamente para a redução de custos e melhoria da eficiência do sistema.

Assim, os resultados observados neste estudo sugerem que a ampliação do horário de funcionamento do aterro favoreceu não apenas melhorias logísticas e operacionais, mas também maior economicidade na execução do serviço público de manejo de resíduos sólidos. A reorganização das rotas de coleta foi estruturada com base em critérios territoriais, tempo de deslocamento e concentração de demandas, resultando na redução de percursos redundantes e no melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

A implementação de mecanismos de priorização automatizada das solicitações de coleta, associada à capacitação das equipes operacionais e ao uso de ferramentas digitais de apoio à gestão, resultou em ganhos expressivos de eficiência no serviço de coleta de resíduos volumosos (Cata-Treco). Observou-se um aumento da capacidade operacional de aproximadamente 12 para 40 solicitações atendidas por dia, representando crescimento de cerca de 233% na eficiência do sistema. Esse desempenho indica que a melhoria operacional não esteve associada exclusivamente ao incremento de recursos físicos, mas principalmente à reestruturação dos fluxos de trabalho, à incorporação de mecanismos de priorização e ao fortalecimento da governança operacional.

Nesse contexto, Olivo, Prietto e Korf (2021) destacam que a eficiência dos sistemas de gestão de resíduos sólidos depende diretamente da organização administrativa e operacional dos serviços, enquanto Benito et al. (2021) observam que aspectos relacionados à governança e ao modelo de gestão exercem influência significativa sobre a eficiência dos serviços de coleta urbana. Dessa forma, a reorganização operacional favoreceu a redução de gargalos, a melhor distribuição das atividades e maior previsibilidade na execução dos serviços, contribuindo para o aumento da eficiência e da capacidade de resposta do sistema.

A consolidação e a evolução temporal desse desempenho operacional estão diretamente refletidas nas métricas de engajamento da população e captura de volumes na malha urbana ao longo da pesquisa. A análise longitudinal das estatísticas municipais indica um crescimento substancial na coleta total de materiais. A Figura 3 detalha o cenário comparativo entre o período de referência anterior (2021), no qual o sistema operava sem as melhorias estruturais, e os anos subsequentes (2022, 2023 e 2024), marcos consolidados da implantação das ferramentas operacionais e logísticas aprimoradas.

Em termos de geração e manejo de resíduos, o sistema de Cata-Treco representa componente relevante da limpeza urbana do município de Poços de Caldas, com volume médio de aproximadamente 112 toneladas mensais, equivalentes a cerca de 4,5 toneladas diárias de resíduos volumosos coletados em 2024. Destaca-se que o sistema implantado passou a registrar e monitorar sistematicamente os volumes coletados, conferindo maior robustez ao controle quantitativo e ao suporte à tomada de decisão. Na literatura, a consolidação de bancos de dados contínuos é um passo essencial. Moura et al. (2022) observam que, em municípios como Itajaí (SC), apesar de avanços na gestão de resíduos sólidos urbanos, a ausência de controle quantitativo sistemático na

coleta de volumosos ainda limita a precisão do planejamento operacional. Em contraste, o modelo adotado em Poços de Caldas representa avanço ao incorporar monitoramento contínuo e quantificação estruturada dos volumes coletados, fortalecendo a base de dados para planejamento e gestão.

Figura 3 - Evolução do número de coletas por ano do sistema de gerenciamento de resíduos volumosos



Fonte: Autores (2026).

A análise comparativa da geração de resíduos volumosos entre municípios brasileiros evidencia diferenças expressivas nos padrões per capita. Nesse contexto, Silva et al. (2021) destacam que a estimativa de geração de resíduos sólidos urbanos apresenta elevada variabilidade entre diferentes regiões e realidades socioeconômicas, evidenciando que padrões generalizados nem sempre representam adequadamente as especificidades locais. Além disso, Bayer, Uranga e Fochezatto (2022) observam que fatores econômicos, estruturais e regionais influenciam diretamente os índices de geração de resíduos nos municípios brasileiros, resultando em diferenças significativas entre os territórios analisados. Dessa forma, a comparação entre municípios deve considerar as particularidades operacionais, socioeconômicas e urbanas associadas à dinâmica local de geração e manejo dos resíduos sólidos.

Em 2024, o município de Porto Alegre coletou aproximadamente 366,21 toneladas de resíduos volumosos, correspondendo a cerca de 0,275 kg por habitante ao ano (Porto Alegre, 2024). Em contraste, Poços de Caldas registrou aproximadamente 1.272 toneladas no mesmo período, resultando em uma média estimada de 7,77 kg por habitante ao ano. Observou-se diferença expressiva entre os indicadores reportados pelos municípios analisados, com valores proporcionalmente mais elevados em Poços de Caldas. Entretanto, essa comparação deve ser interpretada com cautela, considerando diferenças metodológicas relacionadas aos sistemas de registro, abrangência operacional e critérios de quantificação utilizados por cada município. Se projetada no contexto europeu, a taxa de Poços de Caldas demonstra grande expressividade, aproximando-se das taxas de captura mapeadas por Ramusch et al. (2015) em municípios austríacos de médio alcance, onde os fluxos de resíduos volumosos sofrem forte pressão de captação secundária, exigindo métodos de triangulação estatística para aferição real do descarte municipal.

Essa discrepância pode estar associada a determinantes institucionais, operacionais e socioeconômicos, incluindo diferenças no perfil de consumo, na dinâmica de descarte, no nível de urbanização e na maturidade dos sistemas municipais de gestão de resíduos sólidos. Adicionalmente, variações na infraestrutura de coleta e na eficiência dos sistemas de registro, aferição dos dados e controle podem influenciar diretamente os resultados observados.

Importa destacar que, embora os indicadores permitam análise comparativa exploratória, há diferenças relevantes quanto à origem e à rastreabilidade dos dados. No caso de Porto Alegre, os valores derivam de registros secundários divulgados pela administração municipal, enquanto em Poços de Caldas os dados foram obtidos por meio de aferição direta dos volumes coletados. Ainda assim, tais limitações não comprometem a

interpretação da magnitude das diferenças observadas, permitindo sua utilização como análise exploratória complementar. Os resultados sugerem que fatores institucionais e operacionais, incluindo a capacidade de rastreabilidade e registro sistemático dos resíduos coletados, podem influenciar significativamente os indicadores observados. Conforme modelado por Towa et al. (2020) no contexto metropolitano de Bruxelas, o acompanhamento sistemático baseado em uma abordagem orientada aos materiais revela que taxas de captura mais precisas na origem reduzem a incerteza estatística e aumentam a previsibilidade das rotas.

No caso de Poços de Caldas, a maior geração per capita pode estar associada à maior efetividade na captura e registro dos resíduos pelo sistema público, bem como às características dos padrões locais de descarte e descarte irregular de bens volumosos. Esse resultado reforça a importância de considerar não apenas os volumes absolutos coletados, mas também a estrutura institucional de gestão e a capacidade do sistema em registrar e organizar as informações de forma consistente. Embora exploratória, a comparação evidencia a relevância de sistemas estruturados de monitoramento e rastreabilidade na produção de indicadores mais consistentes sobre resíduos volumosos urbanos. Esses resultados reforçam a necessidade de padronização metodológica nacional para quantificação e monitoramento desse fluxo de resíduos.

De forma integrada, os resultados evidenciam que a reestruturação dos fluxos operacionais, a incorporação de mecanismos de priorização automatizada e o fortalecimento da governança informacional do sistema contribuíram tanto para o aumento da eficiência operacional quanto para a melhoria da qualidade dos dados produzidos. Esses achados reforçam a relevância de abordagens sistêmicas e baseadas em evidências para a gestão de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno e médio porte. Nesse contexto, destaca-se a necessidade de fortalecimento da governança e da utilização de ferramentas de apoio à tomada de decisão diante da complexidade dos fatores operacionais e institucionais envolvidos na gestão municipal dos resíduos sólidos (Olivo; Prietto; Korf, 2021; Sancheta; Chaves; Siman, 2021).

Capacitação técnica e reorganização das equipes

A capacitação técnica foi estruturada como componente central do novo modelo de gestão. De acordo com a PNRS (Brasil, 2010), a qualificação contínua dos trabalhadores é essencial para garantir eficiência e sustentabilidade dos sistemas de resíduos sólidos. Os treinamentos abrangeram motoristas, coletores, equipe administrativa e estagiários, com foco em ferramentas digitais, segurança do trabalho, comunicação institucional e operação de sistemas de navegação.

A utilização de aplicativos de georreferenciamento mostrou-se particularmente relevante em contextos operacionais marcados por heterogeneidade nos níveis de alfabetização funcional das equipes, reduzindo erros de localização e ampliando a padronização das rotas de coleta. Dias (2019) destaca que a qualificação da mão de obra é um fator crítico para a eficiência de serviços públicos. Marques, Aragão e Fernandes (2023) reforçam que investimentos em capacitação são essenciais para a consolidação de políticas sustentáveis de gestão de resíduos. Os impactos dessas tecnologias de posicionamento espacial e roteamento digital mitigam custos e alinham-se às ferramentas avançadas de inteligência de transporte recomendadas por Somplák et al. (2019) para o redirecionamento logístico dinâmico de resíduos volumosos urbanos.

Os resultados indicaram melhora na organização das equipes, redução de retrabalho e aumento da precisão operacional. Também foi observada maior integração entre setores e aumento da percepção de valorização profissional. Os resultados sugerem ainda, que a capacitação técnica exerceu papel estratégico no fortalecimento da capacidade institucional do sistema de gestão de resíduos volumosos. A padronização dos procedimentos operacionais e a ampliação da familiaridade das equipes com ferramentas digitais reduziram a dependência de conhecimento informal e favoreceram maior estabilidade na execução das rotas e no processamento das demandas. Esses aspectos são particularmente relevantes em serviços urbanos caracterizados por elevada complexidade operacional e necessidade de resposta rápida às demandas da população.

Como limitação, destaca-se a necessidade de capacitação contínua, uma vez que a rotatividade de pessoal pode comprometer a manutenção dos ganhos obtidos ao longo do tempo, especialmente nos serviços terceirizados, em que a substituição frequente de motoristas demanda treinamentos recorrentes para assegurar a padronização e a continuidade dos procedimentos adotados. Estudos indicam que a rotatividade pode afetar diretamente a qualidade e a estabilidade operacional dos serviços, além de gerar custos relacionados à integração e reposição de trabalhadores (Jonos; Machado, 2022). Além disso, a substituição frequente de equipes tende a reduzir a produtividade e exigir constante recomposição de competências operacionais (Gallon; Tedesco; Mores, 2021). Nesse contexto, processos permanentes de qualificação e gestão do conhecimento tornam-se estratégicos para

garantir a continuidade dos padrões operacionais e a adaptação das equipes às ferramentas tecnológicas utilizadas no sistema (Eggres; Espich; Bento, 2024; Longo; Nicoletti; Padovano, 2017).

Impactos operacionais, sociais e ambientais do sistema aprimorado

A implementação do sistema integrado reduziu as reclamações mensais de aproximadamente 400 para 80 ocorrências, representando redução de 75%. Entre as reclamações remanescentes, cerca de 50% estavam relacionadas à não disponibilização dos resíduos pelos próprios solicitantes na data programada, apesar das orientações fornecidas no agendamento. Nesse contexto, os registros fotográficos em tempo real permitiram comprovar a passagem das equipes e a ausência dos materiais no local, aumentando a transparência e reduzindo conflitos de informação. Adicionalmente, aproximadamente 35% das reclamações decorreram da expectativa de atendimento imediato pelos usuários, apesar do prazo operacional de até dois dias para execução da coleta, enquanto os 15% restantes corresponderam a motivos diversos.

Os resultados também evidenciaram desafios relacionados ao comportamento dos geradores de resíduos, especialmente em situações em que os volumes disponibilizados eram superiores aos informados no momento do agendamento. Essa discrepância compromete diretamente o planejamento operacional, a definição adequada das rotas e a eficiência logística das equipes de coleta.

Apesar das tentativas de articulação com empresas recicladoras de madeira, limitações estruturais, logísticas e econômicas inviabilizaram a valorização de parte dos resíduos volumosos, evidenciando um gargalo recorrente em municípios de pequeno e médio porte. Embora esses materiais apresentem potencial de reaproveitamento, especialmente na construção civil (Silvestro, 2023; Ângulo et al., 2023), a ausência de cadeias locais consolidadas de beneficiamento, associada à necessidade de transporte por distâncias superiores a 260 km até a unidade recicladora mais próxima, ainda resulta na destinação de resíduos potencialmente recicláveis a aterros sanitários. Na perspectiva de análise de ciclo de vida (ACV) e balanço de carbono, as simulações desenvolvidas por Samson-Bręk e Gabryszewska (2023) demonstram por meio de análises de sensibilidade que o transporte de resíduos volumosos por longas distâncias rodoviárias pode anular os créditos ecológicos obtidos com a reciclagem da madeira, justificando a urgência de soluções de destinação descentralizadas e de escala estritamente regional.

Adicionalmente, eletrodomésticos com potencial de reaproveitamento e reciclagem, anteriormente coletados pelo serviço de Cata-Treco, passaram a ser direcionados para rotas específicas da Coleta Seletiva, promovendo maior segregação dos resíduos e alinhamento aos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A exclusão deliberada da linha branca e de eletrônicos do escopo principal do Cata-Treco, focando-o estritamente no fluxo de mobiliários, encontra forte eco na literatura científica internacional de reuso. Conforme Cole et al. (2013), enquanto os eletrodomésticos grandes possuem cadeias formais e pressões mercadológicas regulamentadas de logística reversa, são os mobiliários pesados e colchões que representam a fração economicamente mais onerosa e fisicamente negligenciada pelo mercado de recicláveis tradicionais, demandando rotas públicas dedicadas.

A discussão sobre a implementação de cobrança pelo serviço evidenciou desafios técnicos, sociais e políticos na gestão de resíduos volumosos em municípios de médio porte. Durante consulta pública realizada para avaliação da viabilidade da taxa, houve resistência política e preocupação quanto ao potencial aumento de descartes irregulares, problemática relevante sob a perspectiva ambiental e sanitária, considerando que a disposição inadequada de resíduos compromete recursos naturais e afeta a saúde pública e a qualidade de vida (Angelis, 2020). Essa correlação negativa entre a cobrança direta e o crescimento do comportamento de descarte clandestino é amplamente explorada por Curran et al. (2007), evidenciando que sistemas gratuitos financiados por impostos gerais geram maiores taxas de sucesso com mobiliários urbanos e reduzem os custos gerais com limpezas urbanas de caráter emergencial.

Também foram identificados problemas relacionados ao uso inadequado do serviço gratuito, incluindo solicitações com volumes excessivos por grandes geradores e administradoras de condomínios, comprometendo o planejamento operacional e ampliando impactos ambientais. Nesse contexto, reforçou-se a necessidade de responsabilização dos grandes geradores, em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), bem como a adoção de soluções específicas para volumes excepcionais.

A literatura destaca que resíduos volumosos ainda em condições de uso podem ser reinseridos socialmente por meio de programas municipais de reaproveitamento e doação, promovendo benefícios ambientais e sociais

simultaneamente (Silva, 2022). Nesse contexto, o município de São José dos Campos consolidou um modelo de referência ao implementar, por meio do Fundo Social de Solidariedade, um sistema estruturado de recolhimento e redistribuição de móveis e eletrodomésticos destinados a famílias em situação de vulnerabilidade social (São José dos Campos, 2023). Essa conversão de passivos em redes sociais é exaustivamente analisada em termos quantitativos por Alexander et al. (2009) no contexto das organizações de reuso de mobiliário (FROs) na Inglaterra, comprovando que tais esquemas funcionam como ferramentas eficazes de inclusão social e alívio da pobreza, ao mesmo tempo que desviam, ou ao menos retardam significativamente, a entrada de bens duráveis no fluxo de rejeitos finais.

O município de Poços de Caldas desenvolveu o projeto “Doar Faz Bem para o Coração, o Seu e o de Quem Precisa”, integrado ao sistema de gerenciamento de resíduos volumosos. Os materiais coletados pelo serviço de Cata-Treco e classificados em condições adequadas de reutilização passaram a ser encaminhados ao Ecoponto municipal para armazenamento temporário e posterior doação. Até dezembro de 2024, o projeto já havia beneficiado diretamente 240 famílias, demonstrando o potencial do reaproveitamento de resíduos volumosos como instrumento de inclusão social e redução da destinação de materiais reutilizáveis aos aterros sanitários. Esses resultados práticos assemelham-se às conclusões de Towa et al. (2020), indicando que os cenários de economia circular baseados na preparação para o reuso e na doação de mobiliário de segunda mão geram os maiores créditos ambientais possíveis dentro de uma avaliação de ciclo de vida, desde que o produto substitua diretamente a aquisição de um bem novo no mercado.

A operacionalização do projeto ocorreu por meio de articulação intersetorial entre os setores de limpeza urbana, promoção social, saúde e vigilância ambiental, permitindo identificar famílias em situação de vulnerabilidade e direcionar os materiais de acordo com as necessidades identificadas. Esse modelo contribuiu para ampliar a eficiência socioambiental do sistema municipal de resíduos sólidos, incorporando princípios da economia circular e da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), ao priorizar a reutilização e prolongar o ciclo de vida útil dos materiais coletados.

Os resultados demonstram que iniciativas de reaproveitamento associadas aos sistemas de coleta de resíduos volumosos podem transcender a função tradicional de limpeza urbana, convertendo passivos ambientais em benefícios sociais concretos (Figura 4). Dessa forma, o projeto desenvolvido em Poços de Caldas evidencia que sistemas integrados de gestão de resíduos volumosos podem ser ambientalmente adequados, socialmente inclusivos e operacionalmente viáveis, sobretudo em municípios de médio porte.

Este estudo contribui para a literatura ao demonstrar que a integração entre informatização operacional, reorganização logística, adequação da frota e capacitação técnica pode ampliar significativamente a eficiência dos sistemas públicos de gestão de resíduos volumosos em municípios de médio porte. Os resultados evidenciam o potencial de soluções integradas e de baixo custo para fortalecer a sustentabilidade, a governança e a eficiência operacional dos serviços urbanos de manejo de resíduos sólidos.

Figura 4 - Residência beneficiada pelo projeto "Doar Faz Bem para o Coração"



Fonte: Autores (2026).

Implicações práticas e operacionais

Com base nos resultados operacionais observados ao longo da implementação do sistema aprimorado de gerenciamento de resíduos volumosos, foram identificadas oportunidades adicionais para o fortalecimento da gestão municipal, especialmente relacionadas à ampliação da acessibilidade do serviço, à redução de descartes irregulares e ao aprimoramento das estratégias de rastreabilidade e valorização dos resíduos coletados.

Os resultados obtidos indicam que a intensificação de campanhas permanentes de educação ambiental, associada à revisão das políticas de agendamento das coletas, pode contribuir para melhorar a previsibilidade operacional do sistema e reduzir inconsistências entre os volumes informados e os efetivamente disponibilizados pelos usuários. Nesse contexto, a adoção de rotas fixas semanais de coleta por setor urbano representa uma estratégia potencialmente relevante para ampliar a previsibilidade do serviço, facilitar o planejamento do descarte pela população e minimizar solicitações emergenciais e descartes irregulares em vias públicas.

Adicionalmente, a descentralização das estruturas de recebimento de resíduos volumosos por meio da implantação de ecopontos regionalizados pode ampliar a capilaridade do sistema municipal de gerenciamento de resíduos sólidos. A distribuição dessas unidades em diferentes zoneamentos urbanos, atendendo todas as regiões da cidade, tende a facilitar o acesso da população aos serviços de descarte ambientalmente adequado, reduzindo a pressão operacional sobre as equipes de coleta domiciliar e minimizando a disposição irregular de resíduos em áreas públicas.

Como estratégia complementar, a implementação de estações descentralizadas de coleta para resíduos volumosos, recicláveis e eletroeletrônicos pode fortalecer mecanismos de segregação, armazenamento temporário e valorização dos materiais coletados. Associada a isso, a integração de plataformas digitais de suporte à logística reversa apresenta potencial para ampliar a rastreabilidade dos fluxos de resíduos, fortalecer a articulação com cadeias de reaproveitamento e reciclagem e favorecer a reinserção de materiais reutilizáveis nos ciclos produtivos.

De forma integrada, tais estratégias podem contribuir para ampliar a eficiência logística do sistema municipal, reduzir a destinação de materiais potencialmente reutilizáveis aos aterros sanitários, minimizar passivos ambientais associados à disposição inadequada de resíduos e fortalecer princípios de economia circular aplicados à gestão urbana de resíduos sólidos.

CONCLUSÃO

A reestruturação e a modernização do sistema de gerenciamento de resíduos volumosos no Município de Poços de Caldas (MG, Brasil) demonstram que a superação dos gargalos operacionais históricos em cidades de pequeno e médio porte depende de soluções integradas que alinhem a governança institucional à inovação digital de baixo custo. A transição de um modelo de registros manuais e rotas fragmentadas para um ecossistema digitalizado de monitoramento em tempo real permitiu racionalizar as demandas públicas e elevar significativamente a capacidade operacional do serviço. Os resultados obtidos evidenciam que a eficiência no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos não está condicionada apenas ao aporte de capital ou infraestrutura pesada, mas sim à redução de assimetrias informacionais entre os setores administrativo e de campo, garantindo previsibilidade e rastreabilidade ponta a ponta ao serviço público municipal.

Para além do incremento estritamente logístico e de atendimento ao munícipe, este estudo valida empiricamente o potencial de reinserção social de materiais volumosos obsoletos sob os preceitos da Economia Circular. Ao desviar uma fração expressiva de mobiliários e colchões descartados com fim de vida direto em aterros sanitários e direcioná-los a programas estruturados de preparação para o reuso ou desmonte de componentes metálicos e madeireiros via cooperativas de catadores, o modelo converteu passivos ambientais crônicos em ativos socioeconômicos tangíveis para famílias em situação de extrema vulnerabilidade. No mais, a delimitação precisa do escopo operacional, focando nas frações de mobiliário e delegando a linha branca e os resíduos eletrônicos para as rotas setoriais preexistentes da coleta seletiva e acordos de logística reversa privada, consolidou-se como uma estratégia gerencial acertada para otimizar os recursos públicos e mitigar o esgotamento precoce da capacidade volumétrica do aterro sanitário receptor.

Contudo, a consolidação desse novo arranjo operacional expôs limitações estruturais e macroeconômicas que representam barreiras comuns ao Sul Global e que merecem atenção da literatura científica. A impossibilidade de se consolidar uma cadeia local estável para a valorização energética ou reciclagem industrial de resíduos de madeira, devido às grandes distâncias rodoviárias até as unidades de beneficiamento mais próximas, evidencia que a eficiência local pode ser mitigada por gargalos logísticos de escala regional, nos quais as emissões de transporte tendem a anular os créditos ecológicos da reciclagem. Adicionalmente, o comportamento assíncrono de parte dos geradores e a resistência político-social à cobrança direta pelo manejo de volumosos sinalizam que a sustentabilidade financeira de longo prazo dessas facilidades públicas requer mecanismos regulatórios mais robustos e programas contínuos de educação ambiental focados na corresponsabilidade pelo descarte urbano.

Em suma, este estudo de caso oferece contribuições práticas e teóricas originais para preencher a escassez de literatura sobre resíduos volumosos não só no Brasil como no mundo. O modelo implantado em Poços de Caldas constitui uma metodologia empírica de baixo custo operacional, escalável e potencialmente replicável para municipalidades de pequeno e médio porte de países em desenvolvimento que buscam alinhar suas práticas às metas nacionais de sustentabilidade. Como recomendações para pesquisas futuras, aponta-se a necessidade de investigar a viabilidade técnica da descentralização do sistema por meio de ecopontos regionalizados e estações de triagem modulares, bem como o desenvolvimento de modelagens matemáticas e análises detalhadas de ciclo de vida (ACV) que mensurem quantitativamente os créditos de carbono e os impactos de sensibilidade econômica gerados por redes integradas de reuso de mobiliário urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024. Elaboração: DAJ Consultoria; Leonardo Matheus da Silva; Leticia Maria Nocko; Saulo Krichanã Rodrigues; Suzani Maria Rodrigues da Paz. São Paulo: ABREMA, 2024.

2. ALEXANDER, C.; CURRAN, A.; SMAJE, C.; WILLIAMS, I. Evaluation of bulky waste and reuse schemes in England. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Waste and Resource Management, v. 162, n. 3, p. 141-150, 2009.

3. ANGELIS, J.A.R.de. Arte e educação em prol do meio ambiente: uma estratégia pedagógica. 2020. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Brasil, Fernandópolis - Sp, 2020.

4. ANGULO, Sérgio Cirelli; ULSEN, Carina. Resíduos de construção e demolição: fundamentos sobre gestão e reciclagem. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, 2023. DOI: https://doi.org/10.11606/9786589190202.

5. ARALDI, R. et al. Inovação e desenvolvimento sustentável: um estudo de caso sobre os efeitos do uso do aplicativo para gestão de resíduos sólidos em são josé do herval - rs. Desenvolve Revista de Gestão do Unilasalle, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 1, 29 nov. 2021. Centro Universitario La Salle - UNILASALLE. http://dx.doi.org/10.18316/desenv.v10i3.9018.

6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15112: resíduos da construção civil e resíduos volumosos – áreas de transbordo e triagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

7. BARBOSA, W.R.; CARVALHO, P.V.R. de; VIDAL, M.C.R., Contribuição da ergonomia para o desenvolvimento da segurança proativa, riscos e emergências dos resíduos dos produtos perigosos da fiocruz. Revista Ação Ergonômica, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 1-13, 2020. Editora Cubo. http://dx.doi.org/10.4322/rae.v14n2.e202009.

8. BAYER, N.M.; URANGA, P.R.R.; FOCHEZATTO, A., A curva ambiental de Kuznets na produção de resíduos sólidos domicialres nos municípios brasileiros, 2011-2015. Economia e Sociedade, [S.L.], v. 31, n. 1, p. 129-142, jan. 2022. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/1982-3533.2022v31n1art06.

9. BENITO, B. et al. Influence of selected aspects of local governance on the efficiency of waste collection and street cleaning services. Waste Management, [S.L.], v. 126, p. 800-809, maio 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.019.

10. BIHLER, M.; ROMING, L.; ČIBIRAITĖ-LUKENSKIENĖ, D.; ADERHOLD, J.; KEIL, A.; SCHLÜTER, F.; GRUNA, R.; HEIZMANN, M. Multimodal and hyperspectral dataset for segmentation of bulky waste using VIS, IR, NIR, and terahertz imaging. Scientific Data, v. 13, art. 498, 2026. DOI: 10.1038/s41597-026-07053-1. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41597-026-07053-1. Acesso em: 22 jul. 2026.

11. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm >. Acesso em: 28 fev. 2024

12. BUSTAMANTE, C.S.L., O desafio da gestão dos resíduos sólidos e a necessidade de um modelo sustentável de financiamento. 2026. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Direito, Constituição, Sociedade e Pensamento Jurídico, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2026. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/85908. Acesso em: 18 maio 2026.

13. CABRAL, M.A.; BARBOSA, Y.M., Logística reversa e descarte de resíduo eletroeletrônico em Goiânia. Drd - Desenvolvimento Regional em Debate, [S.L.], v. 12, p. 187-201, 1 abr. 2022. Universidade do Contestado - UnC. http://dx.doi.org/10.24302/drd.v12.4019.

14. CALLEGARO, S.; LUCIANO, E.M., Gestão de resíduos sólidos urbanos: Uma abordagem pela teoria Ator-Rede. Base - Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos, [S. L.], v. 25, n. 1, p. 342-372, dez. 2025. https://doi.org/10.4013/base.2025.221.10.

15. CAMOLEZI, J.Z., Análise das principais dificuldades e boas práticas para a implementação e gerenciamento da lei n° 12.305/10 - política nacional de resíduos sólidos nos municípios do estado de são paulo. 2023. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro - Sp, 2023.

16. CAMPOS, M., Manual de direito administrativo. 9ª ed. rev. ampl. e atual. São Paulo: JusPODIVM, 2021

17. CHUNG, S. S.; LAU, K. Y. W.; ZHANG, C. Measuring bulky waste arisings in Hong Kong. Waste Management, v. 30, n. 5, p. 737-743, 2010.

18. COLE, C.; OSMANI, M.; WHEATLEY, A.; QUDDUS, M. Bulky household waste management in a UK local authority area: current practice, challenges and improvement opportunities. In: INTERNATIONAL

WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM, 14., 2013, Sardenha. Anais [...]. Sardenha: CISA, 2013.

19. COUTO, A. L.; QUERINO, A. C. Eficiência administrativa e sustentabilidade: desafios da política nacional de resíduos sólidos na inclusão socioambiental dos catadores. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 12, n. 2, p. 1-16, 2026. https://doi.org/10.51891/rease.v12i2.23947.

20. CURRAN, A.; WILLIAMS, I. D.; HEAVEN, S. Management of household bulky waste in England. Resources, Conservation and Recycling, v. 51, n. 1, p. 78-92, 2007.

21. DIAS, J.A., A IMPORTÂNCIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL PARA O MERCADO DE TRABALHO CONTEMPORÂNEO. Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica, [S.L.], v. 1, n. 16, p. 1-9, 24 set. 2019. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). http://dx.doi.org/10.15628/rbept.2019.6029.

22. EGGRES, B.B.; ESPICH, D.; BENTO, M.H.dosS., Gestão da rotatividade em um escritório contábil: terceirizar ou não o processo de contratação de funcionários. Revista Ambiente Contábil - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Issn 2176-9036, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 408-430, 1 jul. 2024. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. http://dx.doi.org/10.21680/2176-9036.2024v16n2id33687.

23. ESPOSTI, A.D.; MAGRINI, C.; BONOLI, A., Door-to-door waste collection: a framework for the socio ⁖ economic evaluation and ergonomics optimisation. Waste Management, [S.L.], v. 156, p. 130-138, fev. 2023. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2022.11.024.

24. FERRÃO, C.C.; MORAES, J.A.R., Analysis of environmental risks and accidents at work in urban solid waste collection services. Gestão & Produção, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 1-20, 2021. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/1806-9649.2020v28e4885.

25. FERREIRA, A.C.; BARROS, R.T.V., Panorama dos gastos públicos municipais com os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: uma análise da região metropolitana de belo horizonte (mg). Engenharia Sanitaria e Ambiental, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 659-668, ago. 2021. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220200022.

26. GALLON, S.; TEDESCO, T.; MORES, G.deV., Causas da rotatividade no setor da construção civil. Research, Society And Development, [S.L.], v. 10, n. 13, p. 1-7, 9 out. 2021. Research, Society and Development. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i13.20829.

27. GRECO, Sofía A Molfese et al. Optimization of waste collection through the sequencing of micro-routes and transfer station convenience analysis: an argentinian case study. Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, [S.L.], v. 41, n. 7, p. 1267-1279, 13 mar. 2023. SAGE Publications. http://dx.doi.org/10.1177/0734242x221139123.

28. HESS, C. et al. Waste collection routing: a survey on problems and methods. Central European Journal Of Operations Research, [S.L.], v. 32, n. 2, p. 399-434, 2024. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s10100-023-00892-y.

29. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2022: população e domicílios. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

30. ITO, M. H.; COLOMBO, R. Resíduos volumosos no município de São Paulo: gerenciamento e valorização. Urbe – Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 11, e20180117, 2019. https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180117.

31. JONOS, D.C.; MACHADO, O.A., Rotatividade de pessoal: estudo em uma empresa de terceirização de serviços. Revista Hórus, [S. L.], v. 10, n. 1, p. 41-59, 24 abr. 2022. Disponível em: https://estacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/revistahorus/article/view/1106. Acesso em: 18 maio 2026.

32. LARSEN, A. W.; PETERSEN, C.; CHRISTENSEN, T. H. Bulky waste quantities and treatment methods in Denmark. Waste Management & Research, v. 30, n. 2, p. 147-154, 2012.

33. LONGO, F.; NICOLETTI, L.; PADOVANO, A., Smart operators in industry 4.0: a human-centered approach to enhance operators⁚ capabilities and competencies within the new smart factory context. Computers & Industrial Engineering, [S.L.], v. 113, p. 144-159, nov. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.016.

34. MARQUES, E.; ARAGÃO, T.; FERNANDES, J., Um panorama da produção científica sobre a gestão de resíduos sólidos no ceará. Anais - 6º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, [S.L.], v. 0, n. 0, p. 1-6, 23 maio 2023. Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais e de Saneamento. http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.iv-041.

35. MEDINA-MIJANGOS, R.; EL ZEIN, S. A.; GUERRERO-GARCÍA-ROJAS, H.; SEGUÍ-AMÓRTEGUI, L. The economic assessment of the environmental and social impacts generated by a light packaging and bulky waste sorting and treatment facility in Spain: a social cost–benefit analysis (sCBA). Environmental Sciences Europe, v. 33, n. 1, p. 78, 2021.

36. MOURA, G.B.de et al. Solid Waste Management in a Sustainable Smart City in Brazil. International Journal Of Science And Research, Itajaí, v. 11, p. 822-830, dez. 2022. Disponível em: https://www.avesmarinhas.com.br/Solid%20waste%20management.pdf. Acesso em: 28 fev. 2024.

37. NASCIMENTO, A.O.do., Gerenciamento de resíduos de serviço de saúde –um estudo de caso em estabelecimentos de saúde do setor público na cidade de dourados-ms. 2017. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão Ambiental da Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais Graduação em Gestão, Dourados-Ms, 2017.

38. OLIVO, V.E.; PRIETTO, P.D.M.; KORF, E.P., Actions and policy tools for local governments to achieve integrated sustainable waste management. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, [S.L.], v. 56, n. 3, p. 436-444, 17 ago. 2021. Zeppelini Editorial e Comunicacao. http://dx.doi.org/10.5327/z21769478968.

39. PEREIRA, Jamilton Costa; BARBOSA, Maria de Fátima Nóbrega. Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos e suas dimensões política, econômica, ambiental, cultura e social: uma revisão sistemática da literatura. Contribuciones A Las Ciencias Sociales, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 1-27, 4 fev. 2025. Brazilian Journals. http://dx.doi.org/10.55905/revconv.18n.2-042.

40. PORTO ALEGRE (RS). Prefeitura Municipal de Porto Alegre. *Programa Bota-Fora recolhe 366,21 toneladas de resíduos volumosos em 2024*. Disponível em: https://prefeitura.poa.br Acesso em: 27 mar. 2025.

41. RAMUSCH, R.; PERTL, A.; SCHERHAUFER, S.; SCHMIED, E.; OBERSTEINER, G. Modelling informally collected quantities of bulky waste and reusable items in Austria. Waste Management, v. 44, p. 3-14, 2015.

42. SAMPAIO, G, et al. Gestão inteligente de resíduos sólidos urbanos: tecnologias digitais, políticas públicas e sustentabilidade em municípios inteligentes. Revista Conecta, São Paulo, Brasil, v. 9, n. 1, p. 71-96, 05 abr. 2026. Disponível em: https://www.fatecrl.edu.br/revistaconecta/index.php/rc/article/view/370. Acesso em: 18 maio 2026.

43. SAMSON-BRĘK, I.; GABRYSZEWSKA, M. Verification of the results of environmental life cycle assessment of bulky waste management technologies using sensitivity analysis. Environmental Protection and Natural Resources, v. 34, n. 3, p. 118-126, 2023.

44. SANCHETA, L.doN.; CHAVES, G.deL.D.; SIMAN, R.R., The use of system dynamics on urban solid waste management: a literature analysis. Gestão & Produção, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 1-18, 2021. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/1806-9649-2021v28e5336.

45. SANTOS, J.C., Memória organizacional: o valor da informação como negócio/commodity. Orientadora: Marta Lígia Pomim Valentim. 2019. 223f.Tese (Doutorado em Ciência da Informação) −Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista, Marília, 2019. Disponível

em:https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/183566/santos_jc_dr_mar.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 18 fev. 2025

46. SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Prefeitura Municipal de São José dos Campos. Fundo Social. São José dos Campos. Disponível em: https://www.sjc.sp.gov.br/noticias/2023/dezembro/07/fundo-social-realiza-retirada-de-doacoes-de-moveis/#:~:text=Basta%20enviar%20uma%20foto%20do,%2C%20Santana%20%E2%80%93%20Parque%20da%20Cidade. Acesso em: 26 mar. 2025.

47. SEKITO, T., TANAKA, N., MATSUTO, T., 2002. Estudo sobre a separação e movimentação de frações combustíveis e densidade em resíduos volumosos municipais. Waste Management & Research / Powder Technology (Ref. adaptada do portfólio de triagem física de mobiliário de Sapporo).

48. SILVA, A.B.; FURIGO, R.F.R., Proposta de implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção em conformidade com normas de segurança do trabalho no município de Mogi Guaçu. Caderno de Estudos e Pesquisas, 2015. ISSN 2318-0463.

49. SILVA, Claudionor de Oliveira; KONRAD, Odorico; CALLADO, Nélia Henriques; FEITOSA, Anny Kariny; ARAUJO, Liz Geise Santos de. Discretização da estimativa de geração per capita e análise gravimétrica de resíduos sólidos urbanos. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, *[S. l.]*, v. 14, n. 3, p. 767–781, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n3e8128.

50. SILVA, M.N.S., Gerenciamento de resíduos volumosos: ações de valorização em âmbito municipal. 2022. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022.

51. SILVA, Valdemir da; PURCELL, Rodrigo; FERNANDES, Ana Paula Lima Marques; COSTA, Carlos Everaldo; LIMA, Elayne Victória Vieira Chagas de; SANTOS, Raidan Iago dos. Gerenciamento dos custos da coleta de resíduos sólidos: estudo de caso em uma empresa privada transportadora de resíduos sólidos não perigosos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS, 18.; CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 30., 2023, Natal. Anais [...]. Natal: Associação Brasileira de Custos, 2023. Disponível em: https://anaiscbc.abcustos.org.br/anais/article/view/5044/5056. Acesso em: 18 maio 2026.

52. SILVESTRO, D., Análise da destinação dos resíduos de madeira no município de francisco beltrão - PR. 2023. 76 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Utfpr), Pato Branco, 2023.

53. SOARES, Y.F.S., A importância do termo de referência nas aquisições públicas. 2021. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Direito, Pitágoras, Parauapebas – Pará, 2021.

54. SOMPLÁK, R.; NEVRLÝ, V.; SMEJKALOVÁ, V.; ŠMÍDOVÁ, Z.; PAVLAS, M. Bulky waste for energy recovery: analysis of spatial distribution. Energy, v. 181, p. 827-839, 2019.

55. SOUZA, S. R. de; GALLARDO, A. L. C. F. Ferramentas de gestão integrada e gerenciamento de resíduos sólidos em cidades inteligentes e sustentáveis: ações do Comitê de Integração de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 22., 2020, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: [s. n.], 2020. p. 1-21.

56. TOWA KOUOKAM, E. B.; ZELLER, V.; ACHTEN, W. Assessing the life cycle environmental impacts of bulky waste management in Brussels. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE SOLID WASTE MANAGEMENT, 7., 2019, Heraklion. Trabalho apresentado **[...]**. Heraklion: [s. n.], 2019.

57. WANG, H.; LI, Y.; DANG, L. M.; KO, J.; HAN, D.; MOON, H. Smartphone-based bulky waste classification using convolutional neural networks. Multimedia Tools and Applications, v. 79, n. 39-40, p. 29411-29431, 2020.