

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO - CEPEAD
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO ESTRATÉGICA - CEGE
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS - FACE

MESSIAS INÁCIO DA SILVA CARVALHO

**USO DE DADOS ABERTOS AMBIENTAIS PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL
DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE: ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO
DAS EMISSÕES DE CO₂.**

MESSIAS INÁCIO DA SILVA CARVALHO

**USO DE DADOS ABERTOS AMBIENTAIS PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL
DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE: ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO
DAS EMISSÕES DE CO₂.**

Monografia de Especialização apresentada à Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais - FACE/UFMG, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Estratégica (CEGE).

Orientadora: MS.Aline Rodrigues da Fonseca

Belo Horizonte

2025

Ficha catalográfica

C331u
2025 Carvalho, Messias Inácio da Silva.
Uso de dados abertos ambientais para a gestão sustentável de resíduos de serviços de saúde [manuscrito]: estratégias para redução das emissões de CO₂ / Messias Inácio da Silva Carvalho. – 2025.
1 v.: il.

Orientadora: Aline Rodrigues da Fonseca.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração. Inclui bibliografia.

1. Administração. I. Fonseca, Aline Rodrigues da. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração. III. Título.

CDD: 658

Elaborado por Rosilene S. Santos – CRB-6/2527
Biblioteca da FACE/UFMG. – RSS/ 054/2025



Universidade Federal de Minas Gerais
Faculdade de Ciências Econômicas
Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração
Curso de Especialização em Gestão Estratégica

ATA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO do Senhor **MESSIAS INÁCIO DA SILVA CARVALHO**, matrícula nº **2023706020**. No dia 31/03/2025 às 17:00 horas, reuniu-se em sala virtual, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso - TCC, indicada pela Coordenação do Curso de Especialização em Gestão Estratégica - CEGE, para julgar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "**USO DE DADOS ABERTOS AMBIENTAIS PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE: ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO 2**", requisito para a obtenção do Título de Especialista. Abrindo a sessão, a orientadora e Presidente da Comissão, Profa. Ma. Aline Rodrigues da Fonseca, após dar conhecimento aos presentes do teor das Normas Regulamentares de apresentação do TCC, passou a palavra ao aluno para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, seguida das respostas do aluno. Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença do aluno e do público, para avaliação do TCC, que foi considerado:

(X) APROVADO

() NÃO APROVADO

75 pontos (Setenta e cinco pontos) trabalhos com nota maior ou igual a **60** serão considerados aprovados.

O resultado final foi comunicado publicamente ao aluno pela orientadora e Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, a Senhora Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 31/03/2025.

Documento assinado digitalmente

gov.br

ALINE RODRIGUES DA FONSECA

Data: 07/04/2025 09:15:33-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Ma. Aline Rodrigues da Fonseca
(Orientadora - professora convidada CEGE/UFMG)

Documento assinado digitalmente

gov.br

JAQUELINE SILVA MELO

Data: 07/04/2025 09:32:35-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ma. Jaqueline Silva Melo
(PUC Minas)


Hidelano Delanusse Theodoro

Dr. Hidelano Delanusse Theodoro
(UFRJ)

RESUMO

Este estudo investiga o potencial dos dados abertos ambientais, em especial os do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) de Minas Gerais, para aprimorar a gestão sustentável de resíduos de serviços de saúde (RSS) em um hospital da rede pública de Belo Horizonte Minas Gerais - Brasil, visando otimizar a gestão de resíduos de serviços de saúde e reduzir as emissões dióxido de carbono associadas ao transporte e ao tratamento de RSS. Por meio de uma abordagem quantitativa descritiva, analisaram-se dados de transporte, volume de resíduos, tecnologias de tratamento e emissões associadas entre 2020 e 2024. Os resultados evidenciaram que rotas longas Iguatama, 263 km e veículos a diesel são responsáveis por mais de 70% das emissões de CO₂, destacando a necessidade de otimização logística. A incineração mostrou-se impactante, enquanto tecnologias como autoclavação e reciclagem ainda são subutilizadas. A predominância de resíduos comuns destinados a aterros reforça a dependência de métodos pouco sustentáveis. O estudo propõe estratégias como a adoção de veículos de baixo carbono, consolidação de cargas, monitoramento em tempo real e integração de dados abertos para subsidiar decisões. Conclui-se que a transparência dos dados, aliada a políticas públicas e colaboração multissetorial, é crucial para alinhar a gestão de RSS aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, reduzindo emissões e fortalecendo a governança ambiental, a integração de práticas inovadoras e sustentáveis e a contribuição para implementação de estratégia de políticas pública.

Palavras - chaves: Dados Abertos Ambientais; Gestão de Resíduos de Serviços de Saúde; Emissões de Dióxido de Carbono; Manifesto de Transporte de Resíduos.

ABSTRACT

This study investigates the potential of environmental open data, particularly from the Waste Transport Manifest of Minas Gerais, to enhance the sustainable management of healthcare waste in a public hospital in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. The research aims to optimize healthcare waste management and reduce carbon dioxide emissions associated with transportation and treatment. Using a descriptive quantitative approach, data on transportation, waste volume, treatment technologies, and associated emissions between 2020 and 2024 were analyzed. The results revealed that long-distance routes Iguatama, 263 km, and diesel-powered vehicles account for over 70% of CO₂ emissions, underscoring the need for logistical optimization. Incineration proved to be environmentally impactful, while technologies such as autoclaving and recycling remain underutilized. The predominance of common waste destined for landfills highlights the continued reliance on unsustainable methods. The study proposes strategies such as adopting low-carbon vehicles, consolidating loads, implementing real-time monitoring, and integrating open data to support decision-making. It concludes that data transparency, combined with public policies and multisectoral collaboration, is critical to aligning healthcare waste management with the Sustainable Development Goals (SDGs), reducing emissions, strengthening environmental governance, integrating innovative and sustainable practices, and contributing to the implementation of public policy strategies.

Keywords: Environmental Open Data; Healthcare Waste Management; Carbon Dioxide Emissions; Waste Transport Manifest.

LISTA DE FIGURAS

Gráfico 1 - Evolução mensal da geração de resíduos de serviços de saúde em um hospital universitário de Belo Horizonte/MG (2020-2024).....	18
Gráfico 2 - Evolução da Tecnologia de Tratamento de RSS 2020-2024.	19
Gráfico 3 - Quantidade de Resíduos Coletados por classe de RSS e Tecnologia de Tratamento - 2020 a 2024	20
Gráfico 4 - Evolução anual da quantidade de Toneladas por destino 2020 a 2024.....	21
Gráfico 5 - Quantidade de Resíduos por Classe e Cidade 2020 a 2024.	22
Tabela 1 - Emissão de CO ₂ por trajeto mensal caminhão de oito toneladas.....	23
Tabela 2 - Emissão de CO ₂ por trajeto anual caminhão de oito toneladas	24

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO GERAL	12
2.1 Objetivos Específicos	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Resíduos de Serviços de Saúde	13
3.2 Emissão de Gás Carbono	13
3.3 Dados Abertos e Sustentabilidade	14
3.4 Contexto de Políticas Públicas e Governança.....	14
4 METODOLOGIA	15
4.1 Tipo de estudo	15
4.2 Fontes de dados.....	15
4.3 Análise dos dados	16
5 RESULTADOS	17
5.1 Evolução mensal da geração de resíduos 2020 a 2024.....	17
5.2 Tecnologia de tratamento no período de 2020 A 2024	18
5.3 Total de Resíduos gerados por classe e tecnologia de tratamento no período de 2020 a 2024.	19
5.4. Evolução da Quantidade de Toneladas por Destino por Ano	20
5.5. Tonelada de Resíduos por Classe e Destinador	21
5.6. Total de Emissão de CO2 por trajeto por mês de transporte, caminhão 8 toneladas	22
5.7. Total De Emissão De Co2 Por Trajeto Para O Período De 2020 A 2024, Caminhão De 8 Toneladas.	23
6. DISCUSSÃO	25
7. CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Como as mudanças climáticas representam um dos maiores desafios globais do século XXI, a necessidade de reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) é fundamental para mitigar seus impactos (Martin; Maris; Simberloff, 2016). A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2022) considera a poluição atmosférica como: contaminação de ambientes internos ou externos por qualquer composição química, física ou agente biológico que modifica as características naturais da atmosfera. A emissão de gases poluentes altera a composição química da atmosfera, o que leva a modificações do equilíbrio ambiental, com resultados diretos na saúde da população. Em diversos setores, a busca por práticas mais sustentáveis tem se intensificado, incluindo o setor de saúde, que enfrenta o desafio de conciliar sua missão essencial de preservação da vida com a responsabilidade ambiental.

Segundo Associação Brasileira de Resíduos Sólidos (Panorama ABREMA,2024) estima-se que o Brasil no ano de 2022, foram coletados 61% dos Resíduos Sólidos Urbano (RSU) e encaminhados para aterros sanitários, correspondendo a 43,8 milhões de toneladas de resíduos. 74,3% dos RUS encaminhados para a disposição final é representado pelo Sudeste. Destes, os Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) representam aproximadamente 1 a 3 % do peso dos resíduos sólidos gerados em um município(FEAM,2018).

Nesse contexto, a gestão dos RSS surge como um ponto crítico, devido ao seu potencial de contribuir significativamente para a emissão de gases de efeito estufa (GEE) (Pinheiro; Venturi; Galvani, 2020). Os resíduos gerados pelas unidades de saúde, como hospitais, clínicas e laboratórios, incluem materiais infecciosos, químicos e radioativos, além de resíduos comuns. Esses resíduos requerem cuidados específicos em suas especificidades, transporte e destinação final, para evitar danos à saúde pública e ao meio ambiente (ANVISA,2018). No entanto, as etapas de gerenciamento, especialmente o transporte para locais de tratamento e descarte, resultam frequentemente em emissões consideráveis de CO₂. Além disso, tecnologias de tratamento, como incineração e esterilização, têm impacto direto na geração de GEE.(Palermo et al.,2020).

A escolha do destino dos RSS é um dos fatores mais determinantes para a sustentabilidade ambiental na gestão desses resíduos, decisões relacionadas à localização de aterros sanitários, incineradores ou unidades de reciclagem podem influenciar significativamente a pegada de carbono associada. Locais de descarte localizados longe das unidades geradoras aumentam a emissão de CO₂ devido à necessidade de transporte prolongado. Além disso, tecnologias ineficientes ou econômicas no tratamento de resíduos podem liberar grandes quantidades de poluentes na atmosfera (Climate Watch, 2025).

Por outro lado, a gestão sustentável de RSS não se limita apenas à redução das emissões de carbono, mas também envolve aspectos como o reaproveitamento de materiais, a minimização da geração de resíduos e o fortalecimento das políticas públicas para o setor (Arantes; Günther, 2023). A integração de soluções tecnológicas avançadas, como *softwares* de monitoramento e sistemas de logística inteligentes, pode otimizar rotas de transporte, reduzir custos e, conseqüentemente, minimizar o impacto ambiental.

Neste cenário, a identificação de ações estratégicas de políticas do governo aberto, apresentam como fator essencial na gestão de resíduos hospitalares, pois garante transparência, acesso a dados e responsabilidade (Oliveira; Ckagnazaroff, 2023). Além disso, promovem inovação ao facilitar a colaboração entre hospitais, empresas e governos, fortalecendo a governança ambiental e o cumprimento de metas globais, dos tratados da Organização das Nações Unidas (ONU) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) através da Agenda 2030, ao promover a gestão sustentável da água e do saneamento, está diretamente relacionada à gestão de resíduos e à redução das emissões de CO₂, pois a transparência nos dados e a adoção de práticas eficientes na gestão de resíduos hospitalares podem prevenir a contaminação dos recursos hídricos e minimizar a emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e a proteção da saúde pública Who (2022).

O governo aberto gera grandes volumes de dados (*big data*) que possibilitam a análise e solução para as questões sociais, ambientais e econômicas, os três pilares da sustentabilidade. Com a transparência proporcionada pelos dados acessíveis, cidadãos e organizações podem participar ativamente na criação de soluções para problemas complexos (Oliveira; Ckagnazaroff, 2022). Isso promove uma gestão pública mais eficaz, impulsiona a inovação e permite decisões mais informadas. Além disso, fortalece

a governança, melhora a eficiência dos serviços públicos e contribui para a construção de sociedades mais justas, equilibradas e ambientalmente responsáveis.

Em síntese, a gestão de resíduos de serviços de saúde não pode ser integrada de forma isolada, mas deve ser integrada às metas globais de redução de emissões de (GEE) e aos esforços de sustentabilidade ambiental. A adoção de práticas inovadoras, o investimento em tecnologias limpas e o fortalecimento de uma cultura de responsabilidade ambiental são passos fundamentais para que o setor de saúde contribua de forma eficaz na construção de um futuro mais sustentável (Romeiro, 2012).

Para Delevati *et al.*, (2020) os gestores de serviços de saúde, a tomada de decisão para a escolha do destino dos resíduos, exige uma abordagem multidimensional, sendo necessário considerar critérios como a proximidade dos locais de tratamento, a eficiência das tecnologias empregadas, a segurança ambiental e as regulamentações vigentes. Políticas públicas bem estruturadas, associadas a incentivos financeiros e à conscientização ambiental entre gestores e profissionais de saúde, que são essenciais para promover a adesão a práticas mais sustentáveis.

Neste contexto, este estudo busca responder de que forma o uso de dados abertos ambientais, como dados do Manifesto do Transporte de Resíduos (MTR) de Minas Gerais, podem contribuir para a melhoria dos processos decisórios na gestão de resíduos de serviços de saúde e para a escolha de tecnologias mais sustentáveis, promovendo a mitigação de emissões de CO₂ em um hospital da rede pública de Belo Horizonte Minas Gerais, Brasil? Serão explorados temas como os impactos das tecnologias de tratamento na emissão de CO₂, a logística no transporte de resíduos e as implicações das políticas públicas regulatórias no processo decisório.

2. OBJETIVO GERAL

Analisar o potencial dos dados abertos ambientais oficiais, especialmente os dados do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) de Minas Gerais, para otimizar os processos de gestão de resíduos de serviços de saúde em um hospital da rede pública de Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil, promovendo a escolha de tecnologias sustentáveis e a redução de emissões de CO₂.

2.1 Objetivos Específicos

Calcular as taxas de emissões de CO₂ associadas ao transporte de resíduos de serviços de saúde, com base nas distâncias percorridas, tipo de transporte utilizado e volume e tipologia dos resíduos.

Avaliar as previsões de tecnologias e práticas mais sustentáveis para melhorar o transporte de resíduos e reduzir as emissões de CO₂.

Desenvolver propostas de estratégias que integrem dados do MTR para subsidiar decisões que reduzam as emissões de CO₂ no transporte e promovam práticas sustentáveis.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Resíduos de Serviços de Saúde

Os Resíduos de Serviços de Saúde são definidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2018) como materiais provenientes de atividades assistenciais, laboratoriais e de pesquisa ligadas à prevenção, diagnóstico, tratamento e reabilitação de seres humanos e animais. Esses resíduos incluem desde materiais infecciosos e químicos até radioativos, além de resíduos comuns gerados em unidades de saúde (FEAM, 2018). A gestão desses resíduos é essencial para prevenir riscos à saúde pública e ao meio ambiente, mas também apresenta desafios logísticos e tecnológicos que impactam diretamente as emissões de GEE.

Estima-se que os RSS representam cerca de 1% a 3% do peso total de resíduos sólidos urbanos gerados em municípios brasileiros (FEAM,2018). Embora sejam quantitativamente inferiores a outros tipos de resíduos, seu manejo inadequado pode gerar efeitos desproporcionais, como a contaminação de recursos hídricos, a propagação de doenças e o aumento das emissões de GEE devido ao transporte e tratamento inadequados (Delevati et al., 2020).

A logística é um dos pontos críticos na gestão de RSS, especialmente em função das longas distâncias percorridas até os locais de tratamento e disposição final. A falta de infraestrutura local eficiente e a dependência de tecnologias tradicionais, como a incineração, agravam o problema, resultando em emissões elevadas de CO₂ e outros poluentes atmosféricos (Palermo et al., 2020).

3.2 Emissão de Gás Carbono

As emissões de dióxido de carbono associadas à gestão de RSS são derivadas principalmente do transporte e dos processos de tratamento, como incineração e esterilização (Palermo et al., 2020). De acordo com a Climate Watch (2025), o setor de gestão de resíduos contribui significativamente para as emissões globais de GEE, ressaltando a importância de iniciativas que promovam a sustentabilidade.

O transporte de RSS é um fator crucial para as emissões de CO₂. Distâncias longas entre os geradores de resíduos e os destinatários finais resultam em maior consumo de combustíveis fósseis e consequente liberação de gases poluentes. Além disso, a escolha dos tipos de veículos utilizados como caminhões a diesel influencia diretamente a pegada de carbono do setor (Delevati et al., 2020). Do ponto de vista tecnológico, o tratamento dos RSS também é um fator de impacto. A incineração, por exemplo, é amplamente utilizada devido à sua capacidade de reduzir o volume de resíduos. No entanto, esse processo emite uma quantidade significativa de CO₂ e outros poluentes atmosféricos (Pinheiro; Venturi; Galvani, 2020). Alternativas como a autoclavação e a reciclagem têm demonstrado potencial para minimizar essas emissões, embora ainda enfrentem barreiras de custo e implementação em larga escala.

3.3 Dados Abertos e Sustentabilidade

O conceito de dados abertos tem se destacado como uma ferramenta estratégica para a gestão ambiental. Segundo Oliveira e Ckagnazaroff (2023), a transparência proporcionada por dados acessíveis fortalece a governança, melhora a eficiência dos serviços públicos e promove a participação cidadã na solução de problemas ambientais. Na gestão de RSS, o uso de plataformas como o Manifesto de Transporte de Resíduos de Minas Gerais permite o monitoramento em tempo real das rotas de transporte, volumes de resíduos e emissões de CO₂ associadas.

A aplicação de dados abertos pode ser integrada a soluções tecnológicas, como sistemas de logística inteligente, para otimizar rotas de transporte e reduzir as emissões. Além disso, dados abertos permitem uma análise mais precisa da eficácia das tecnologias de tratamento, subsidiando a tomada de decisão baseada em evidências (Romeiro, 2012). Esses avanços estão alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 13, que visa à ação contra as mudanças climáticas.

3.4 Contexto de Políticas Públicas e Governança

A gestão sustentável de RSS está diretamente relacionada à implementação de políticas públicas eficazes e à integração de diferentes setores da sociedade. Iniciativas como a Agenda 2030 das Nações Unidas destacam a importância de ações coordenadas para promover a sustentabilidade ambiental e reduzir as emissões de GEE (WHO, 2022). No Brasil, a Lei de Acesso à Informação (LAI) tem possibilitado maior transparência na gestão de resíduos, criando um ambiente favorável à inovação e à fiscalização cidadã (ASCOM, 2017). É crucial que gestores e profissionais de saúde estejam capacitados para utilizar as ferramentas tecnológicas e interpretar os dados ambientais, assegurando que as estratégias adotadas sejam sustentáveis e alinhadas com as metas globais de redução de emissões de carbono. A governança integrada e a colaboração entre governos, empresas e instituições de pesquisa são elementos-chave para o sucesso dessas iniciativas (Arantes; Günther, 2023).

4 METODOLOGIA

4.1 TIPO DE ESTUDO

Trata-se de um estudo de caso descritivo quantitativo que buscou analisar por meio do uso de dados abertos ambientais da Secretaria de Meio Ambiente de Minas Gerais (SEMAD), as taxas de emissão de CO₂ emitida no processo de transporte de resíduos de serviços de saúde. A área de estudo foi um hospital da rede pública de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil que possui 26 hospitais credenciados, públicos, privados ou filantrópicos (Portal de Dados Abertos,2025). Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de 2022 é de aproximadamente 2.315.560 habitantes, sendo o Município de Belo Horizonte uma referência em saúde para os demais distritos do estado. Os cuidados de saúde do município são coordenados pela Secretaria Estadual de Saúde do Estado de Minas Gerais (SES-MG), classificados em rede de hospitais secundários ou especializados e prestam assistência médica básica, terciários especializados e prestam assistência médica em especialidades além das básicas e os hospitais de alta complexidade que são hospitais gerais de grande porte, universitários,Santas Casas e unidades de ensino e pesquisa.

4.2 FONTES DE DADOS

Os cálculos dos fatores de emissão de CO₂ associadas às rotas de destinação RSS, foram adquiridos através dados públicos oficiais, disponibilizado no Sistema do Governo de Minas Gerais (<http://acessoainformacao.mg.gov.br>), no período de janeiro de 2024 a dezembro de 2024. Em relação a quantidade de resíduos que são gerados no hospital em estudo, os destinadores credenciados e a tipologia dos resíduos, foram extraídos na plataforma *Waste Data* - dados do Manifesto de Transporte de Resíduos MTR / Fonte Semad - MG (<https://liferay.meioambiente.mg.gov.br>),no período de janeiro de 2023 a dezembro de 2023,que foi responsável pelo tratamento dos dados e pela disponibilização, garantindo maior clareza e confiabilidade às análises realizadas.

A coleta de dados foi agregada pelas variáveis, quantificação de emissões por transporte, tipo de veículo, peso da carga, consumo médio de combustível, emissão de dióxido de carbono do combustível, distância de transporte incluindo os destinadores finais de RSS credenciados a unidade e o volume de RSS conforme a sua tipologia, permitindo calcular a massa média transportada no período de 2020 a 2024 . Os dados do volume de resíduos gerados no hospital, coletados no acesso aberto do Governo de Minas Gerais que é estruturado e disponibilizado no canal de acesso à informação instrumentalizado pela Lei de Acesso à Informação (ASCOM, 2017).

4.3 ANÁLISE DOS DADOS

A análise descritiva da taxa de emissão de CO₂ no transporte de RSS, segundo tipo de carga de resíduos transportada, destino e tipologia do RSS para a unidade hospitalar em estudo. A taxa de emissão de CO₂ foi calculada utilizando a Calculadora de Emissões de GEE no Manejo de RSS, disponibilizada pelo próprio governo federal. Para a estimativa do impacto decorrente do uso transporte nas emissões por escolha de destinadores, tipo de resíduos e veículo, para descrever o fluxo das rotas e identificar as taxas de emissões de CO₂ no transporte foi apresentado em um planilha elaborada na plataforma da Microsoft Excel.

5 RESULTADOS

O relatório da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA) 2023, estima-se que 93% dos resíduos gerados no Brasil em 2022 tenham sido devidamente coletados, o que equivale a mais de 196 mil toneladas de RSU coletados diretamente, sendo 7% não coletados equivalem a mais de 5 milhões de toneladas de resíduos com destinação final inadequada. A região sudeste apresentou o maior percentual de 98,6% no período de 2022 comparado com as outras regiões do Brasil.

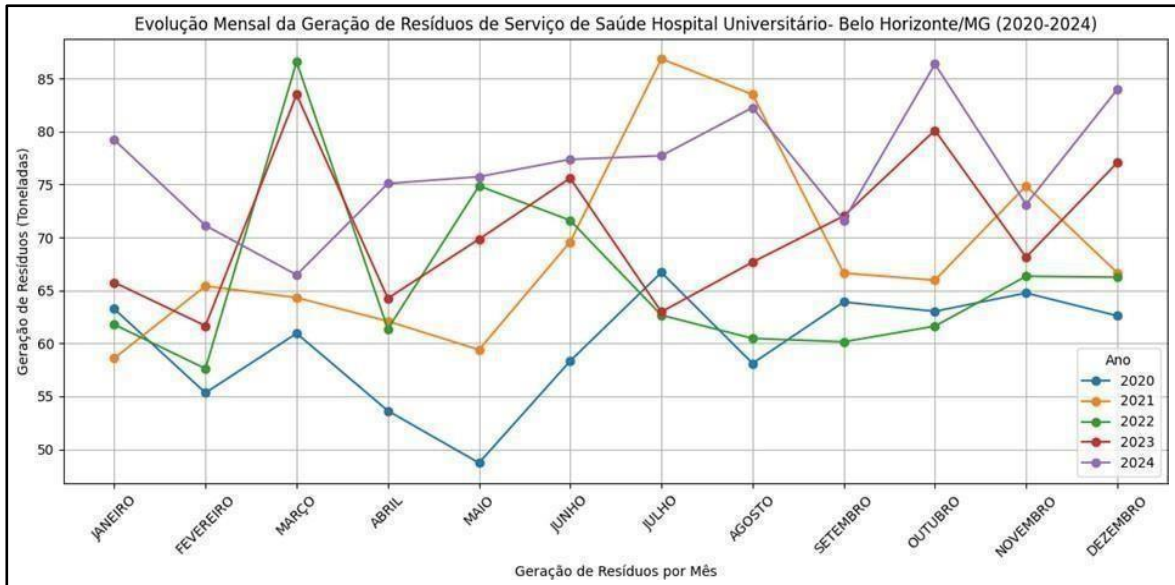
Segundo informações do Sistema Estadual de Manifesto de Transporte de Resíduos de Minas Gerais (Sistema MTR-MG), por meio da emissão do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) 2022, o estado de Minas Gerais atingiu no período de janeiro/2021 a dezembro de 2021, o total de 21.063.457,79 toneladas de resíduos movimentados de geradores para destinadores. Neste período resíduo 200121 lâmpada fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, apresentou uma quantidade elevada de movimentação. No Brasil foram registrados 307 mil toneladas de RSS para o ano de 2002 (Abrema, 2023).

5.1 EVOLUÇÃO MENSAL DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS 2020 a 2024

A evolução mensal de resíduos de serviços de saúde em toneladas no Hospital Universitário no período de 2020 a 2024, apresentada no gráfico (1), demonstrou que a geração de resíduos variou entre 48,72 toneladas em maio e 66,7 toneladas em julho em 2020. O ano de 2020 foi marcado pela pandemia de COVID-19, o que provocou um aumento drástico imediato, possivelmente porque o pico da pandemia no Brasil ocorreu mais para o final deste ano. Em 2021 houve um aumento significativo na geração de resíduos, especialmente no segundo semestre, com picos em julho 86,86 toneladas e agosto 83,51 toneladas. Isso reflete o impacto da pandemia no auge, com maior demanda por serviços de saúde e uso de EPIs.

A geração de RSS no ano de 2022, quando comparada com o ano anterior, apresentou uma pequena queda, mas ainda permaneceu em níveis elevados. O mês de março 86,59 toneladas foi um *outlier*, evidenciando um reflexo do aumento pela demanda dos serviços de atendimento aos pacientes. O ano de 2023, é possível perceber uma flutuação na geração de RSS, com picos em outubro 80,12 toneladas e dezembro 77,07 toneladas, com uma estabilização no ano de 2022 para a média anual. O ano de 2024 apresenta uma tendência de aumento, com picos em outubro 86,38 toneladas e dezembro 83,98 toneladas.

Gráfico 1 Evolução mensal da geração de resíduos de serviços de saúde em um hospital universitário de Belo Horizonte/MG (2020-2024).



Fonte: Carvalho,2025.

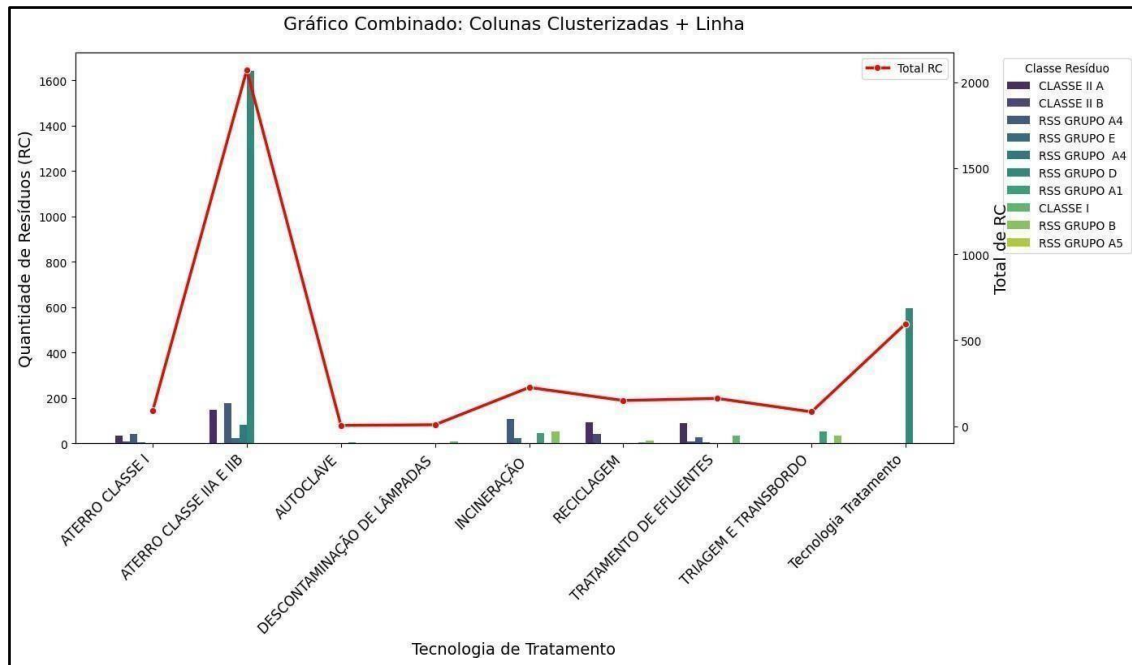
5.2 TECNOLOGIA DE TRATAMENTO NO PERÍODO DE 2020 A 2024.

Em relação às tecnologias de tratamento de resíduos no período de 2020 a 2024 utilizada para tratamento, os dados revelam padrões significativos relacionados a eventos externos, como a pandemia de COVID-19 e tendências de longo prazo. O ano de 2020 registrou um aumento abrupto na geração de RSS, com picos em julho 66,7 toneladas e agosto. Isso reflete a demanda intensificada por serviços de saúde e o uso massivo de EPIs equipamentos de proteção individual durante a primeira onda da pandemia.

O auge da pandemia no Brasil levou a um novo aumento, com picos em julho 86,86 toneladas e agosto 83,51 toneladas. O volume elevado sugere a continuidade de práticas hospitalares críticas, como internações e procedimentos de emergência. No ano de 2022 houve redução na geração de RSS comparada a 2021, mas os níveis permanecem elevados, com destaque para março 86,59 toneladas, possivelmente devido a demandas pontuais ou surtos sazonais. Para o ano de 2023, observou-se flutuações, com picos em outubro 80,12 toneladas e dezembro 77,07 toneladas, indicando uma estabilização gradual, mas ainda com volumes significativos.

As tendências de crescimento foram identificadas para o ano de 2024, com picos em outubro 86,38 toneladas e dezembro 83,98 toneladas. Isso pode estar associado à retomada de atividades hospitalares em larga escala ou à falta de estratégias eficazes para reduzir a geração de resíduos. Padrões e correlações de sazonalidade, foram apresentadas com picos recorrentes no segundo semestre julho e agosto podem estar ligados a surtos de doenças sazonais ou aumento de internações.

Gráfico 2 Evolução da Tecnologia de Tratamento de RSS 2020-2024.



Fonte: Carvalho,2025.

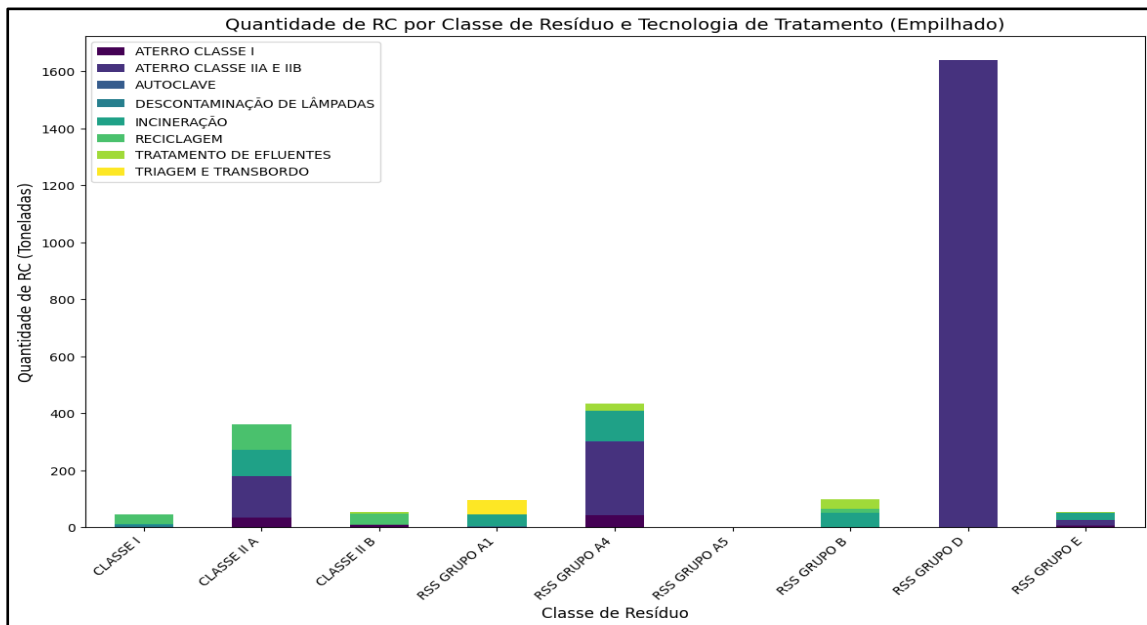
5.3 Total de Resíduos gerados por classe e tecnologia de tratamento no período de 2020 a 2024.

O gráfico apresenta a distribuição da quantidade de resíduos coletados (RC) por classe de resíduo e as diferentes tecnologias de tratamento aplicadas. A análise evidencia que o RSS Grupo D possui um volume significativamente maior do que todas as outras classes, sendo tratado predominantemente por Aterro Classe I. Esse dado refere-se à que a maior parte dos resíduos gerados são classificados como resíduos comuns de serviços de saúde, os quais não necessitam de tratamentos especializados antes da destinação final. Já as classes RSS Grupo A1 e Classe IIA aparecem como os segundos maiores volumes, com uma distribuição mais equilibrada entre diferentes tecnologias, incluindo autoclave, incineração e reciclagem. Isso indica que esses resíduos possuem características mais diversas, exigindo abordagens diferenciadas de tratamento antes do descarte definitivo. Por outro lado, classes como IB, A5, B e E possuem uma geração bem menor de resíduos, mas ainda assim são submetidas a múltiplas formas de tratamento, o que pode indicar a necessidade de maior controle e segregação desses resíduos para otimizar os processos de destinação.

A predominância do aterro como principal destino para o RSS Grupo D levanta questões ambientais e operacionais, visto que esse método pode gerar impactos a longo prazo, como contaminação do solo e emissões de gases. A baixa representatividade da reciclagem no gráfico sugere que há espaço para melhorias nas estratégias de reaproveitamento, o que

poderia reduzir a dependência do aterro sanitário e minimizar impactos ambientais. Além disso, a presença de diferentes tecnologias para grupos específicos de resíduos, como incineração para RSS Grupo A1 e triagem para RSS Classe IIA, aponta para a necessidade de protocolos bem definidos para garantir um tratamento adequado e seguro desses resíduos.

Gráfico 3 Quantidade de Resíduos Coletados por classe de RSS e Tecnologia de Tratamento - 2020 a 2024.



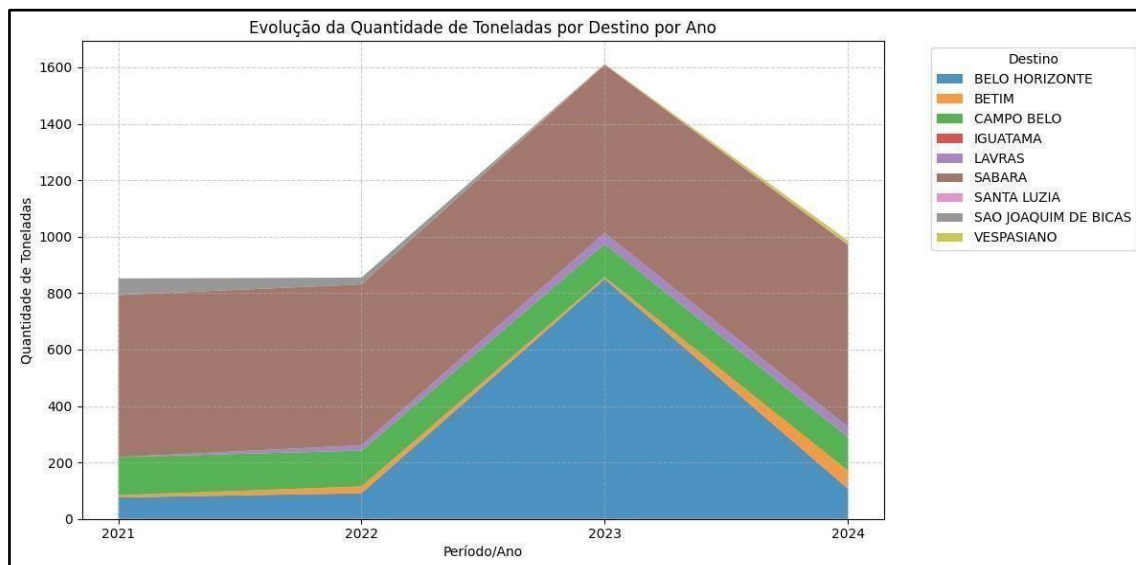
Fonte: Carvalho, 2025.

5.4. Evolução da Quantidade de Toneladas por Destino por Ano

Com base nas informações disponíveis no documento e na tabela associada ao transporte de resíduos, o gráfico 6 provavelmente apresenta a distribuição das toneladas RSS enviadas para diferentes entre 2020 e 2024. Embora a imagem do gráfico não esteja acessível, é possível inferir a Variação Anual nos Destinos, 2020 Pico inicial devido à pandemia de COVID-19, com destinos prioritários como Belo Horizonte recebendo maior volume de resíduos.

O mês de julho deste mesmo período registrou 66,7 toneladas, aumento significativo picos de 86,86 toneladas em julho, refletindo o auge da pandemia. Destinos como Betim e Lavras podem ter recebido mais resíduos devido à sobrecarga de hospitais no ano de 2022, queda moderada, mas ainda com níveis elevados. Março destacou-se como *outlier* 86,59 toneladas, possivelmente devido a demandas pontuais em destinos específicos nos anos de 2023 e 2024, tendo uma estabilização seguida de tendência de aumento, com picos em outubro e dezembro de 86,38 toneladas em 2024, indicando maior demanda ou mudanças na gestão de resíduos.

Gráfico 4 Evolução anual da quantidade de Toneladas por destino 2020 a 2024.

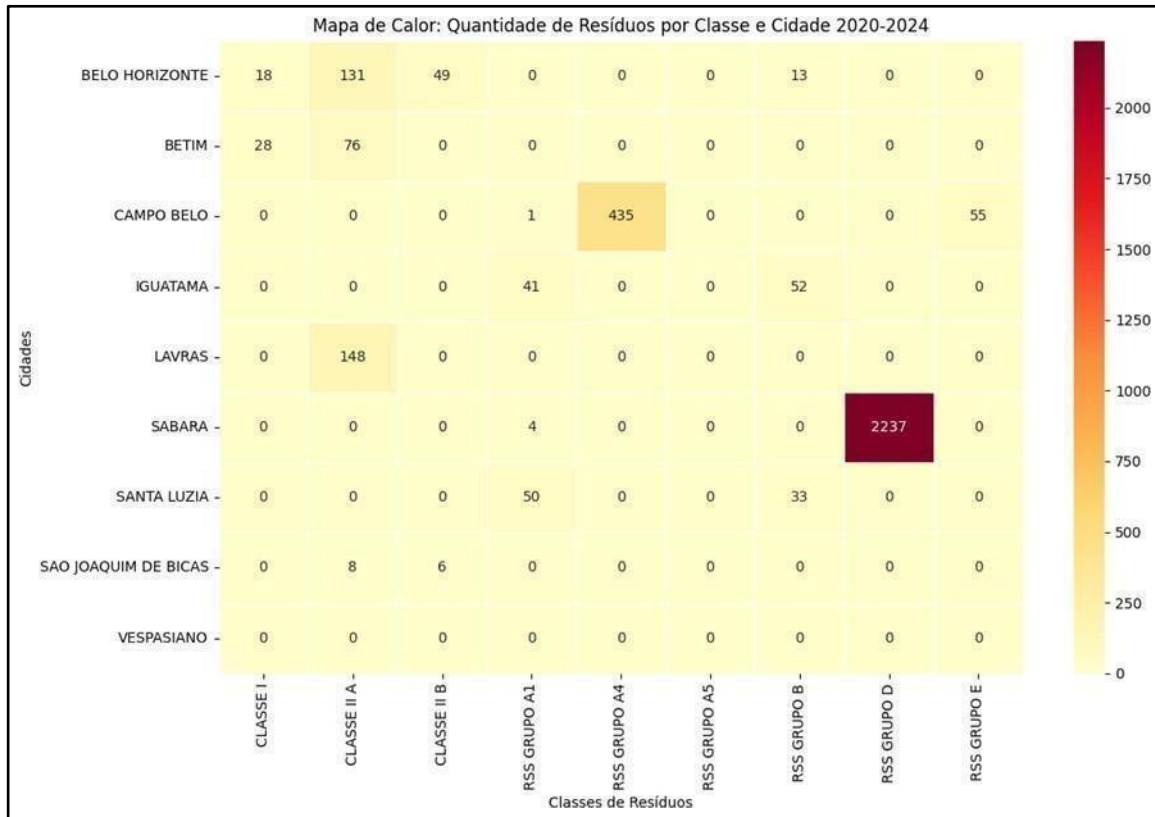


Fonte: Carvalho, 2025.

5.5. Tonelada de Resíduos por Classe e Destinator.

O mapa de calor que analisa as toneladas de RSS por classe e cidade destinadora no período de 2020 a 2024 revela padrões importantes na distribuição desses resíduos. Sabará se destaca como o principal destinador, recebendo 2.237 toneladas de resíduos em uma classe específica, provavelmente Classe II A (resíduos perigosos, como químicos ou infectantes). Esse volume é muito superior aos demais, indicando que a cidade possui infraestrutura especializada para tratar resíduos de alto risco. Outras cidades, como Campo Belo e Belo Horizonte, também recebem volumes significativos, mas em classes diferentes. Campo Belo, registrou 435 toneladas de resíduos comuns evidenciado nas Classe II B, enquanto Belo Horizonte recebe 131 toneladas distribuídas em várias classes. Neste mesmo período Vespasiano não registra nenhum recebimento.

Gráfico 5 Quantidade de Resíduos por Classe e Cidade 2020 a 2024.



Fonte: Carvalho,2025.

5.6. Total de Emissão de CO2 por trajeto por mês de transporte, caminhão 8 toneladas

A análise das rotas de transporte de resíduos revela que as distâncias mensais variam de 543 km Vespasiano a 7890 km Iguatama, com as rotas mais longas sendo Iguatama, Lavras e Campo Belo. Essas rotas também são as que mais contribuem para as emissões de CO2, com valores mensais de 6469.8 kg, 6125.4 kg e 5559.6 kg, respectivamente. Juntas, elas representam mais de 70% das emissões totais, destacando-se como rotas críticas que demandam atenção prioritária. As emissões por trajeto de ida variam de 14.842 kg Vespasiano a 215.66 kg Iguatama, reforçando a necessidade de otimização das rotas mais longas e de maior impacto ambiental.

Tabela 1- Emissão de CO₂ por trajeto mensal caminhão de oito toneladas.

EMIÇÃO DE CO₂ POR TRAJETO					
Origem Gerador	Destinador	Km /Rota	Distância por Mês - Km	Total de CO₂ emitido por trajeto	Total de CO₂ emitido por mês
Belo Horizonte	Belo Horizonte	18.2	1092.0	36.764	1102.92
Belo Horizonte	Betim	36.8	2208.0	74.336	2230.08
Hospital das clínicas	Campo Belo	226.0	13560.0	456.52	13695.6
Hospital das clínicas	Iguatama	263.0	15780.0	531.26	15937.8
Hospital das clínicas	Lavras	249.0	14940.0	503.18	15095.4
Hospital das clínicas	Sabará	22.9	1374.0	46.318	1389.54
Hospital das clínicas	Santa Luzia	25.4	1524.0	51.308	1539.24
Hospital das clínicas	São Joaquim de Bicas	19.6	1176.0	39.592	1187.76
Hospital das clínicas	Vespasiano	18.1	1086.0	36.562	1096.86

Fonte: Carvalho,2025.

5.7. Total De Emissão De Co2 Por Trajeto Para O Período De 2020 A 2024, Caminhão De 8 Toneladas.

A análise da planilha mostra que as rotas com maiores distâncias totais percorridas entre 2020 e 2024 são Iguatama 55.807,50 km, Campo Belo 47.945,00 km e Lavras 52.837,50 km. Essas rotas também são as que mais contribuem para as emissões de CO₂ no período, com valores de 1.879,31 kg, 1.614,57 kg e 1.779,23 kg, respectivamente. Juntas, elas representam a maior parte do impacto ambiental, destacando-se como rotas críticas que demandam atenção prioritária. Em contraste, as rotas para Vespasiano 3.839,25 km e Belo Horizonte 3.862,25 km têm as menores distâncias e emissões, com 129,29 kg e 130,09 kg de CO₂ emitidos, respectivamente.

Tabela 2 - Emissão de CO₂ por trajeto anual caminhão de oito toneladas.

EMIÇÃO DE CO₂ PARA O PERÍODO DE 2020 -2024				
Origem Gerador	Destinador	Km/Rota	Distância Total (2021-2024)	Total de CO2 emitido (2021-2024)
Belo Horizonte	BELO HORIZONTE	18.2	3862.25	130.09
Belo Horizonte	BETIM	36.8	7805.50	262.87
Belo Horizonte	CAMPO BELO	226.0	47945.00	1614.57
Belo Horizonte	IGUATAMA	263.0	55807.50	1879.31
Belo Horizonte	LAVRAS	249.0	52837.50	1779.23
Belo Horizonte	SABARÁ	22.9	4858.25	163.61
Belo Horizonte	SANTA LUZIA	25.4	5389.50	181.50
Belo Horizonte	SAO JOAQUIM DE BICAS	19.6	4158.50	140.05
Belo Horizonte	VESPASIANO	18.1	3839.25	129.29

Fonte: Carvalho,2025.

6. DISCUSSÃO

A gestão de resíduos de serviços de saúde é um desafio complexo que envolve questões logísticas, ambientais e de saúde pública. Este estudo buscou explorar o potencial dos dados abertos ambientais, em particular os dados do Manifesto de Transporte de Resíduos de Minas Gerais, para otimizar a gestão de RSS em um hospital da rede pública de Belo Horizonte, com foco na redução das emissões de CO₂. Os resultados obtidos permitem uma análise crítica dos processos atuais e apontam para possíveis melhorias que podem ser implementadas para promover uma gestão mais sustentável.

As flutuações significativas na geração de resíduos no hospital estudado, foram evidenciadas no gráfico (1) de evolução mensal da geração de RSS, com picos notáveis em períodos críticos, julho de 2020 apresentou 66,7 toneladas e julho de 2021 um total de 86,86 toneladas. Esses aumentos estão diretamente associados à pandemia de COVID-19, que demandou maior uso de Equipamentos de Proteção Individual, materiais descartáveis e internações hospitalares. A queda relativa em 2022 sugere uma estabilização pós-pandêmica, mas os volumes permaneceram elevados, refletindo a persistência de práticas intensivas em geração de resíduos. Já o aumento em 2024 pode indicar tanto a retomada de atividades hospitalares em larga escala quanto a ausência de estratégias eficazes para redução na fonte, como a adoção de materiais reutilizáveis ou políticas de minimização de resíduos.

A sazonalidade observada com picos recorrentes no segundo semestre pode estar ligada a surtos de doenças sazonais ou à maior demanda por serviços de saúde nesses períodos. Isso reforça a necessidade de planejamento logístico flexível e sistemas de monitoramento em tempo real, capazes de antecipar variações na geração de resíduos e otimizar recursos. Em relação as tecnologias de tratamento de resíduos e emissões de CO₂, o estudo também evidenciou que as tecnologias de tratamento de resíduos têm um impacto direto nas emissões de CO₂. A incineração, embora eficaz na redução do volume de resíduos, é uma das principais fontes de emissões de GEE por outro lado, tecnologias como a autoclavação e a reciclagem apresentam um potencial significativo para reduzir as emissões, embora ainda enfrentam desafios de custo e implementação em larga escala.

A análise dos dados do MTR permitiu identificar que a maior parte dos resíduos gerados pelo hospital é classificada como RSS Grupo D, que são predominantemente destinados a aterros sanitários. Embora essa seja uma prática comum, o uso de aterros pode gerar impactos ambientais a longo prazo, como a contaminação do solo e a emissão de gases.

A adoção de tecnologias alternativas, como a compostagem e a reciclagem, poderia reduzir a dependência de aterros e promover uma gestão mais sustentável dos resíduos. A quantidade de resíduos coletados por classe e tecnologia de tratamento no período de 2020 a 2024, revela uma predominância preocupante do Grupo D destinados a aterros sanitários Classe I, representando a maior parcela dos resíduos tratados. Essa prática, embora operacionalmente conveniente, gera impactos ambientais de longo prazo, como emissões de metano e contaminação do solo. A subutilização de tecnologias como autoclavação e reciclagem, aplicadas principalmente a resíduos dos Grupos A1 e IIA infecciosos e químicos, indica uma oportunidade perdida para reduzir a dependência de aterros e promover economia circular.

A incineração, embora eficaz na redução de volume, mostrou-se uma fonte relevante de emissões de CO₂, conforme destacado no estudo. Fator importante identificado é a baixa adoção de alternativas sustentáveis que pode estar relacionada a barreiras econômicas custos de implantação ou à falta de incentivos regulatórios. Além disso, a inconsistência na classificação de resíduos Classe II sem especificação dificulta a análise precisa, sugerindo a necessidade de padronização e transparência nos dados.

A distribuição por classe de resíduos mostra que Sabará, Santa Luzia e Iguatama são os principais polos para resíduos perigosos, enquanto Campo Belo e Belo Horizonte concentram grandes volumes de resíduos comuns. Cidades como São Joaquim de Bicas e Betim têm volumes menores, mas ainda relevantes, especialmente em classes não especificadas, que podem incluir medicamentos vencidos ou materiais radioativos. A ausência de dados claros sobre as classes de resíduos como a diferença entre Classe II e Classe II A dificulta uma análise mais precisa, sugerindo a necessidade de padronização e melhoria na coleta de informações. Além disso, inconsistências na grafia de nomes de cidades, como Santa Luzia, podem comprometer a integridade dos dados. Para melhorar a gestão dos resíduos de serviços de saúde, é essencial investir em infraestrutura nas cidades que já recebem grandes volumes, como Sabará e Campo Belo, ampliando a capacidade de tratamento e garantindo a segurança ambiental. Cidades com baixa ou nenhuma recepção, como Vespasiano, podem ser integradas à rede de destinadores com investimentos em infraestrutura e logística. Além disso, a padronização das classes de resíduos e a melhoria na coleta de dados são passos fundamentais para uma gestão mais eficiente e sustentável. Essas medidas permitiriam uma distribuição mais equilibrada dos resíduos e reduziram os riscos ambientais e sanitários associados ao tratamento inadequado.

A relação entre Destino e Emissões de CO₂: Destinos mais distantes Iguatama, 263 km geraram emissões significativas de CO₂ 531,26 kg por trajeto, enquanto destinos próximos Belo Horizonte, 18,2 km tiveram menor impacto ambiental. Em 2012-2024, destinos como Campo Belo e Iguatama acumularam distâncias totais superiores a 47.000 km, resultando em mais de 1.600 kg de CO₂ emitidos, sugerindo necessidade de otimização logística. 3. Impacto da Pandemia: O aumento abrupto em 2020-2021 pode ter levado a destinos secundários Sabará, Vespasiano serem utilizados para descarte emergencial, enquanto em 2022-2024, a estabilização pode refletir a retomada de rotinas ou melhorias na capacidade local. 4. Tendências e Recomendações: Crescimento em 2024: Aumento nos volumes enviados para destinos como Lavras e Iguatama pode indicar expansão de serviços ou falta de infraestrutura local. Sustentabilidade Destinos próximos Belo Horizonte são mais eficientes ambientalmente. Reduzir trajetos longos poderia diminuir as emissões de CO₂ em até 50%.

A distância entre os destinadores finais de rotas mais longas, como para Iguatama, 263 km, contribuíram significativamente para emissões de CO₂, conforme destacado nos dados de transporte. Tecnologias de Tratamento a predominância de resíduos destinados a aterros Grupo D revela uma dependência de métodos pouco sustentáveis, enquanto tecnologias como autoclavação e reciclagem são subutilizadas.

O fluxo das rotas de transporte de resíduos revelou que as distâncias percorridas e o tipo de veículo utilizado têm um impacto significativo nas emissões de CO₂. As rotas mais longas, como as destinadas a Iguatama, Lavras e Campo Belo, foram responsáveis por mais de 70% das emissões totais. Isso destaca a necessidade de otimização das rotas, com o objetivo de reduzir as distâncias percorridas e, conseqüentemente, as emissões de gases de efeito estufa. A adoção de veículos mais eficientes, como elétricos ou movidos a biocombustíveis, pode ser uma estratégia viável para reduzir a pegada de carbono do transporte de resíduos.

Além disso, a consolidação de cargas e a utilização de sistemas de logística inteligente, que permitem a otimização de rotas em tempo real, podem contribuir para a redução do número de viagens e, conseqüentemente, das emissões. A implementação dessas práticas não só reduziria o impacto ambiental, mas também poderia gerar economia de custos operacionais para o hospital.

Governança e Transparência na Gestão de Resíduos. A utilização de dados abertos, como os disponibilizados pelo MTR, mostrou-se uma ferramenta poderosa para a gestão sustentável de resíduos. A transparência proporcionada por esses dados permite uma tomada de decisão mais informada e baseada em evidências, além de facilitar a fiscalização e o controle das práticas adotadas. A integração de sistemas de

monitoramento em tempo real e a adoção de tecnologias de informação e comunicação (TICs) podem fortalecer a governança ambiental, promovendo a colaboração entre diferentes atores, como hospitais, empresas de transporte e o governo.

A implementação de políticas públicas baseadas em dados abertos também pode incentivar a participação cidadã e a responsabilidade social, alinhando as práticas de gestão de resíduos com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, particularmente aqueles relacionados à ação contra as mudanças climáticas (ODS 13) e à promoção de práticas sustentáveis. Impacto da Pandemia de COVID-19 na Geração de Resíduos. A pandemia de COVID-19 teve um impacto significativo na geração de resíduos no hospital estudado. O aumento drástico na geração de RSS, especialmente no segundo semestre de 2020 e em 2021, reflete a maior demanda por serviços de saúde e o uso intensivo de EPIs. Esse cenário reforça a necessidade de estratégias de gestão de resíduos que sejam resilientes e capazes de lidar com picos de geração, como os observados durante a pandemia.

A estabilização da geração de resíduos em 2022 e 2023 sugere que o hospital conseguiu adaptar suas práticas de gestão para lidar com a nova realidade pós-pandemia. No entanto, a tendência de aumento observada em 2024 indica que a demanda por serviços de saúde continua a crescer, o que exige a adoção de práticas mais sustentáveis e eficientes.

Com base nos resultados, a adoção de estratégias integradas para a gestão de RSS, que incluam a otimização de rotas de transporte, a substituição de veículos por modelos mais eficientes e a adoção de tecnologias de tratamento mais sustentáveis. A implementação de sistemas de monitoramento em tempo real e a utilização de dados abertos podem fortalecer a governança ambiental e promover a transparência nas práticas de gestão de resíduos.

7. CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a utilização de dados abertos ambientais, como explorados deste estudo do Manifesto de Transporte de Resíduos de Minas Gerais, representa uma ferramenta valiosa para aprimorar a gestão sustentável de resíduos de serviços de saúde e reduzir as emissões de CO₂ em um hospital público de Belo Horizonte. A análise revelou que as rotas de transporte mais longas, como as destinadas a Iguatama 263 km, associadas ao uso de veículos movidos a diesel, são responsáveis por mais de 70% das emissões, evidenciando a necessidade premente de otimização logística. Além disso, a predominância de tecnologias de tratamento como a incineração e a destinação de resíduos comuns para aterros sanitários reforça a dependência de métodos com elevado impacto ambiental.

Os resultados apontam para a importância de estratégias integradas que combinem a adoção de veículos de baixo carbono, a consolidação de cargas, o monitoramento em tempo real e a implementação de tecnologias alternativas, como autoclavação e reciclagem. A transparência proporcionada pelos dados abertos não apenas facilita a tomada de decisão baseada em evidências, mas também fortalece a governança ambiental e fomenta a colaboração multissetorial, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, em especial o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima).

Sendo fundamental que os gestores de saúde estejam capacitados para interpretar os dados ambientais e tomar decisões informadas. A colaboração entre diferentes setores da sociedade, incluindo governos, empresas e instituições de pesquisa, é crucial para o sucesso dessas iniciativas. A adoção de práticas sustentáveis na gestão de RSS não só beneficia o ambiente local, mas também serve como modelo replicável em outras unidades de saúde, ampliando os impactos positivos para a sociedade como um todo. Medidas como a otimização de rotas por meio de algoritmos, a substituição da frota por veículos mais eficientes (elétricos ou movidos a biocombustíveis), o aumento da capacidade de carga e o monitoramento em tempo real do consumo de combustível e das emissões podem trazer ganhos significativos na redução do impacto ambiental.

A pandemia de COVID-19 evidenciou a vulnerabilidade dos sistemas de gestão de resíduos, com picos significativos na geração de RSS, reforçando a necessidade de resiliência e adaptação nas práticas adotadas. Contudo, este estudo apresenta limitações que devem ser consideradas. O foco em um único hospital público de Belo Horizonte limita a generalização dos resultados para outras unidades de saúde, especialmente em contextos com realidades socioeconômicas, infraestruturas ou políticas públicas distintas. Além disso, a análise priorizou destinos em cidades mineiras, sem abordar variações em escalas nacional ou internacional, onde práticas de gestão podem divergir significativamente.

Outra limitação refere-se à qualidade dos dados do MTR e de outras fontes governamentais,

que podem apresentar inconsistências ou subnotificação, especialmente durante períodos críticos como a pandemia, quando a priorização de atendimentos emergenciais pode ter afetado a coleta regular de informações. Adicionalmente, as emissões de CO₂ foram calculadas com base em distâncias e para um único tipo de caminhão, sem considerar variáveis como condições de tráfego, eficiência energética da frota, estado de conservação dos veículos ou variações na carga transportada, o que pode levar a sub ou superestimativas do impacto real.

Para futuras pesquisas, recomenda-se a realização de estudos comparativos em diferentes regiões do Brasil e em outros países, incluindo hospitais de diversos portes (públicos, privados, filantrópicos), a fim de verificar se os padrões observados se repetem em outros contextos. Também seria valioso analisar a gestão de RSS em unidades de saúde menores, como postos de saúde e clínicas, que podem apresentar desafios distintos. A exploração de tecnologias inovadoras, como tratamento por micro-ondas, digestão anaeróbica ou pirólise, poderia oferecer soluções mais sustentáveis para reduzir emissões e até gerar energia a partir dos resíduos. A aplicação de inteligência artificial e machine learning para prever a geração de resíduos e otimizar rotas de transporte em tempo real, bem como a criação de indicadores de desempenho ambiental (como emissões por tonelada de resíduo tratado), são passos essenciais para avaliar a eficácia das estratégias adotadas.

Em síntese, a gestão sustentável de RSS exige uma abordagem multidimensional, combinando inovação tecnológica, planejamento logístico eficiente e políticas públicas robustas. Apesar das limitações, este estudo oferece contribuições relevantes para a discussão sobre a redução de emissões de CO₂ no setor de saúde. A integração de dados abertos e a participação ativa de todos os stakeholders são essenciais para promover a economia circular e garantir um futuro mais sustentável, não apenas para o setor de saúde, mas para a sociedade como um todo. Futuras pesquisas devem ampliar o escopo de análise, incorporando novas tecnologias e abordagens metodológicas para superar as limitações identificadas e aprimorar a gestão ambiental de resíduos.

REFERÊNCIAS

- ABREMA (Associação Brasileira de Resíduos Sólidos). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023 - Parte 1. 2024. Disponível em: https://www.abrema.org.br/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/03/Panorama_2023_P1.pdf. Acesso em: 12 jul. 2024.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC No. 222, de 28 de março de 2018. Regulamenta as boas práticas de gerenciamento de serviços de saúde e dá outras providências. Brasília (DF): Ministério da Saúde; 2018. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2018/rdc0222_28_03_2018.pdf. Acesso em: 14 jan. 2025.
- ARANTES, Marcus Vinícius Carvalho; GÜNTHER, Wanda Maria Risso. Boas práticas sustentáveis de gestão de resíduos químicos em instituições públicas de ensino superior. *Química Nova*, [s. l.], v. 46, p. 724–730, 2023.
- ASCOM. Lei de Acesso a Informação (LAI). [S. l.], 2017. Disponível em: <https://cge.mg.gov.br/transparencia/lei-de-acesso-a-informacao-lai>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- CLIMATE WATCH. Greenhouse Gas (GHG) Emissions: Waste Sector – 2025 Data. Washington, DC: World Resources Institute, 2025. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- CALCULADORA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) NO MANEJO DE RSU. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer/calculadora-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-gee-no-manejo-de-rsu>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- DELEVATI, Dionatan dos Santos et al. Desafios na gestão de resíduos de estabelecimentos de saúde públicos perante a RDC 222/18. *Saúde em Debate*, [s. l.], v. 43, p. 190–199, 2020.
- GREENHOUSE GAS (GHG) EMISSIONS | CLIMATE WATCH. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- MARTIN, Jean-Louis; MARIS, Virginie; SIMBERLOFF, Daniel S. The need to respect nature and its limits challenges society and conservation science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, [s. l.], v. 113, n. 22, p. 6105–6112, 2016.
- NOVOS DADOS DA OMS REVELAM QUE BILHÕES DE PESSOAS AINDA

RESPIRAM AR INSALUBRE - OPAS/OMS | ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA
DA SAÚDE. [S. l.],

2022. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre>. Acesso em: 14 jan. 2025.

OLIVEIRA, Daniel José Silva; CKAGNAZAROFF, Ivan Beck. A Transparência como um princípio-chave de Governo Aberto. *Administração Pública e Gestão Social*, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/apgs/article/view/13300>. Acesso em: 13 jan. 2025.

OLIVEIRA, Daniel José Silva; CKAGNAZAROFF, Ivan Beck. A participação cidadã como um dos princípios de governo aberto. *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*, [s. l.], v. 28, p. e84867, 2023.

PALERMO, G. C.; BRANCO, D. A. C.; FREITAS, M. A. V. Comparação entre tecnologias de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos e balanço de emissões de gases de efeito estufa no município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 4, p. 635–648, jul. 2020.

PANORAMA – ABREMA. In: [s. d.]. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 14 jan. 2025.

PINHEIRO, Juarez Mota; VENTURI, Luís Antônio Bittar; GALVANI, Emerson. Poluição atmosférica: estudo de caso do Município de São Luís do Maranhão. *Sociedade & Natureza*, [s. l.], v. 32, p. 808–819, 2020.

PORTAL DE DADOS ABERTOS. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/informacoes-cadastrais-hospitais>. Acesso em: 14 jan. 2025.

RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE - RSS - FEAM - SISEMA. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://feam.br/residuos-de-servicos-de-saude-rss>. Acesso em: 14 jan. 2025.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico- ecológica. *Estudos Avançados*, [s. l.], v. 26, p. 65–92, 2012.

SEMAD PÚBLICA PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM MINAS GERAIS. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://liferay.meioambiente.mg.gov.br/w/semad-publica-panorama-dos-residuos-solidos-em-minas-gerais->. Acesso em: 14 jan. 2025.

WASTE DATA. Base de dados tratada sobre geração e destinação de resíduos têxteis em Minas Gerais. Belo Horizonte: Waste Data, 2024. Disponível em: <https://wastedata.com.br>. Acesso em: 20 mar. 2025.

WHO | UNICEF JMP. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000- 2020. 2021. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/jmp-2021-wash-households>.

Acesso em: 12 jan. 2025.