

III-582 – POTENCIAL DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM FUNÇÃO DO DESCARTE DE VEÍCULOS EM FIM DE VIDA NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Jomara Gonçalves Nogueira⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo CEFET-MG. Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG.

Lisete Celina Lange⁽¹⁾

Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Química pela UFPR. Doutora em Tecnologia Ambiental pelo Queen Mary and Westfield College, Inglaterra.

Endereço⁽¹⁾: Rua Rio Pó, 68 - Riacho das Pedras - Contagem - MG - CEP: 32265-050 - Brasil - Tel: (31) 99399-4601 - e-mail: jomaragn@gmail.com

RESUMO

Os veículos em fim de vida (VFV's) estão entre os mais importantes fluxos reversos de resíduos sólidos do mundo, variados em sua composição e por tipologia veicular, são valiosas fontes de matérias-primas secundárias para o ciclo produtivo. A análise quantitativa de sua geração é essencial para o planejamento de futuros sistemas de reciclagem veicular, na estruturação de políticas públicas direcionadas para a gestão de resíduos veiculares e no fornecimento da cadeia reversa a ser utilizada. A geração natural é complementada pela geração potencial, ambas podem se acentuar em vista do crescimento contínuo de consumo de veículos no Estado de Minas Gerais e do avanço de programas de renovação de frota para os próximos anos. Diante disso, este trabalho apresenta uma previsão da geração de VFV's até o ano de 2030 em Minas Gerais, a partir de dados reais de veículos na condição de sucatas leiloados pelo DETRAN-MG entre 2007 e 2019. Os resultados obtidos mostram uma boa qualidade do modelo utilizado, estima-se que sejam gerados 72.791 VFV's para 2030, totalizando 37.765 toneladas de resíduos a serem destinados adequadamente. A carência de dados reais sobre a geração destes veículos no Estado foi o principal fator limitante identificado.

PALAVRAS-CHAVE: Geração, Resíduos Sólidos, Veículos em Fim de Vida.

INTRODUÇÃO

Os Veículos em Fim de Vida (VFV's) são fluxos de resíduos em crescimento mundial (MODOI *et al*, 2022), quantificar sua geração é importante devido ao potencial de recuperação de recursos materiais e dos impactos ambientais associados à eliminação de componentes perigosos (JANG *et al*, 2022).

O Brasil é o sétimo maior consumidor mundial de veículos, atrás da China, Estados Unidos, Japão, Alemanha, Índia e França (OICA, 2022). Minas Gerais é o segundo maior consumidor do país com 12 milhões de veículos registrados em 2022 (SENATRAN, 2022) e ainda não possui um controle sistêmico sobre a geração de seus VFV's.

Na União Europeia, em 2020 foram geradas 6,1 milhões de toneladas de resíduos veiculares em função do descarte de VFV's, deste total, 89,1 % foram reciclados e reutilizados (EUROSTAT, 2020). No mesmo ano, a Coreia do Sul gerou 12,50 milhões de toneladas, deste total foram exportadas 2,59 milhões e recicladas 9,91 milhões de toneladas de resíduos veiculares no país (JANG *et al*, 2022).

Segundo Souza (2022), no Brasil, são estimados 5,2 milhões de automóveis em fim de vida para 2030, um aumento de 83 % em relação a 2020, totalizando 5,35 milhões de toneladas de resíduos sólidos que serão geradas para tratamento (SOUZA *et al*, 2022).

A maioria dos países em desenvolvimento não possuem um sistema legalizado de gerenciamento de VFV's (LIN *et al*, 2018), nos quais a falta de informação sobre a geração destes veículos reflete a falta de atenção dada à importância da reciclagem veicular por suas autoridades governamentais (NUMFOR *et al*, 2021).

A previsão da geração de VFV's vem ganhando a atenção mundial da academia e indústria nas últimas décadas (D'ADAMO *et al*, 2020), modelos de previsão estudados podem ser utilizados na orientação de políticas públicas e de outros regulamentos (FANG *et al*, 2018).

Qualquer veículo que chega ao fim de vida se torna resíduo sólido à espera de uma destinação ambientalmente adequada, prever a geração destes veículos é essencial no gerenciamento de seus fluxos reversos e para a promoção da economia circular, o que faz deste trabalho muito relevante.

O objetivo deste trabalho é estimar a geração de resíduos sólidos provenientes do descarte de VFV's até 2030 no Estado de Minas Gerais. Para isso, dividiu-se em três etapas, a primeira foi quantificar a frota circulante por idade de fabricação e por tipologia veicular, a segunda foi verificar a existência de diferença significativa entre as bases de dados utilizadas e a terceira etapa consistiu em realizar uma análise preditiva.

METODOLOGIA

A coleta de dados utilizou-se das estatísticas de frota circulante disponíveis no sítio eletrônico da Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN) e dos dados de frota circulante e de veículos sucata leiloados, obtidos junto ao Departamento Estadual de Trânsito de Minas Gerais (DETRAN-MG) por meio do Sistema Eletrônico de Informações ao Cidadão (e-Sic), ambas as bases com dados de Minas Gerais.

Os dados coletados correspondem ao período de 2001 a 2021 para a frota circulante e de 2007 a 2019 para veículos sucata leiloados. Os dados de frota circulante foram organizados por tipos veiculares, sendo eles automóvel, camioneta, caminhonete, caminhão, ônibus, motocicleta e outros, que reúne os demais tipos contidos no Código de Trânsito Brasileiro (CTB).

Foram geradas séries históricas na quantificação da frota circulante por tipo veicular e um histograma com a frequência absoluta dos dados por intervalo de idade de fabricação e a frequência relativa acumulada, que permitiu calcular a idade média da frota com base na média ponderada da idade da frota circulante.

A similaridade entre os dados fornecidos pelo DETRAN-MG e pela SENATRAN nos anos de 2001 a 2021 foi analisada em duas etapas. Para as medidas com normalidade confirmada no teste de Shapiro Wilk, são apresentados média e desvio padrão e a comparação foi feita através do teste t. Para as medidas sem distribuição normal, são apresentados mediana e quartis e a comparação foi feita pelo teste de Mann Whitney.

A análise de previsão foi realizada para estabelecer a quantidade de VFV's gerados para os anos futuros a partir dos dados de veículos sucata leiloados pelo DETRAN-MG entre os anos de 2007 e 2019. A partir de testes de formato da curva, a modelagem que melhor se adaptou ao formato dos dados foi HOLT. Essa etapa foi executada no programa estatístico IBM SPSS versão 25, e o nível de significância adotado foi de 5 %.

A massa de resíduos quantificada a partir da previsão utilizou como referência a massa média de veículos sucata inservíveis leiloados pelo DETRAN-MG e pela Polícia Rodoviária Federal de Minas Gerais (PRF-MG), nos anos de 2020 e 2021.

RESULTADOS

A quantificação por tipologia veicular da frota circulante demonstra a participação mais expressiva de automóveis no período observado entre 2001 a 2021 conforme Figuras 1 e 2. No ano de 2021, a participação de automóveis foi de 53,62 % na base DETRAN-MG e 54,23 % na base SENATRAN.

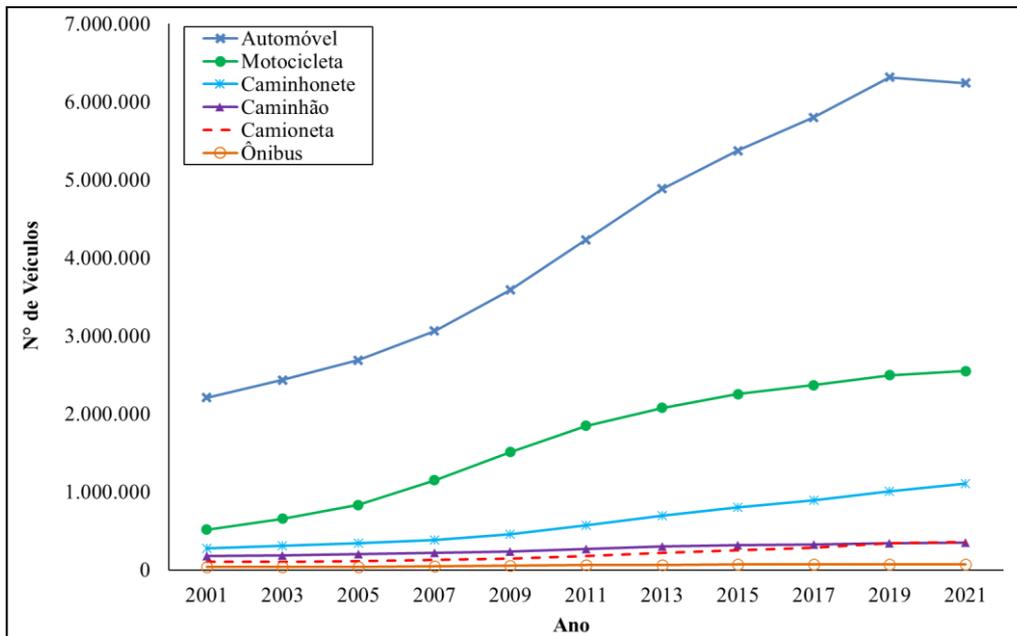


Figura 1: Participação por tipo veicular na frota circulante do DETRAN-MG

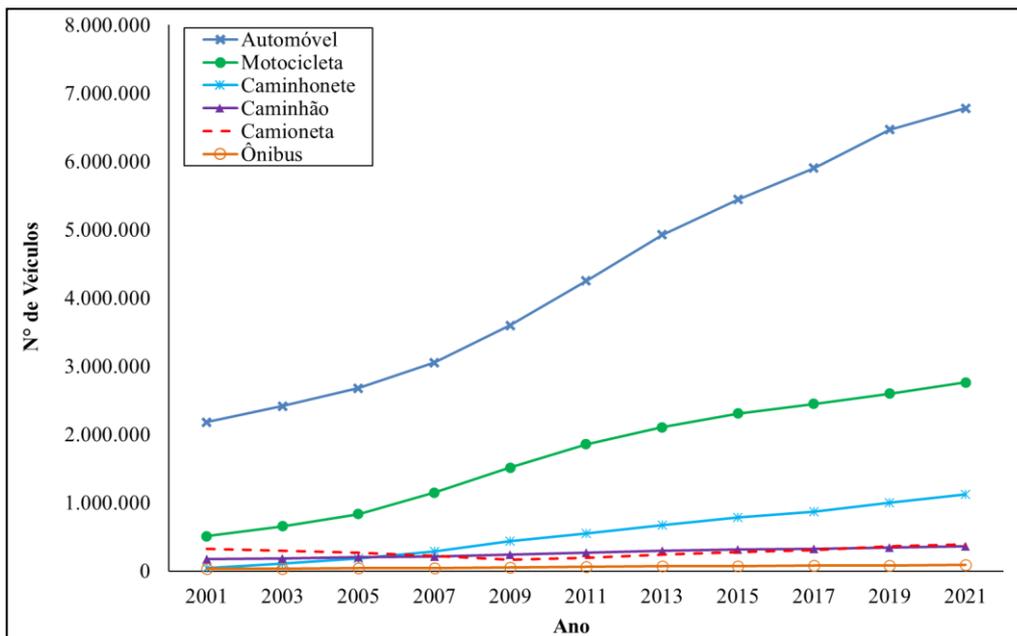


Figura 2: Participação por tipo veicular na frota circulante da SENATRAN

Na sequência, surgem as motocicletas (21,89 % pelo DETRAN-MG e 22,11 % pela SENATRAN); caminhonetes (9,51 % pelo DETRAN-MG e 8,97 % pela SENATRAN); caminhões (2,98 % pelo DETRAN-MG e 2,90 % pela SENATRAN), camionetas (3,06 % pelo DETRAN-MG e 3,15 % pela SENATRAN) e por último os ônibus (0,62 % pelo DETRAN-MG e 0,68 % pela SENATRAN).

Referente a idade média de fabricação, em 2021, foram contabilizados 11.637.977 milhões de veículos emplacados na frota do Estado e uma idade média de 16,68 anos. Conforme Figura 3, 68,54 % dos veículos em circulação apresentam até 19 anos de uso, os restantes 31,46 % equivalentes a 3,66 milhões de veículos, apresentam 20 anos de uso ou mais.

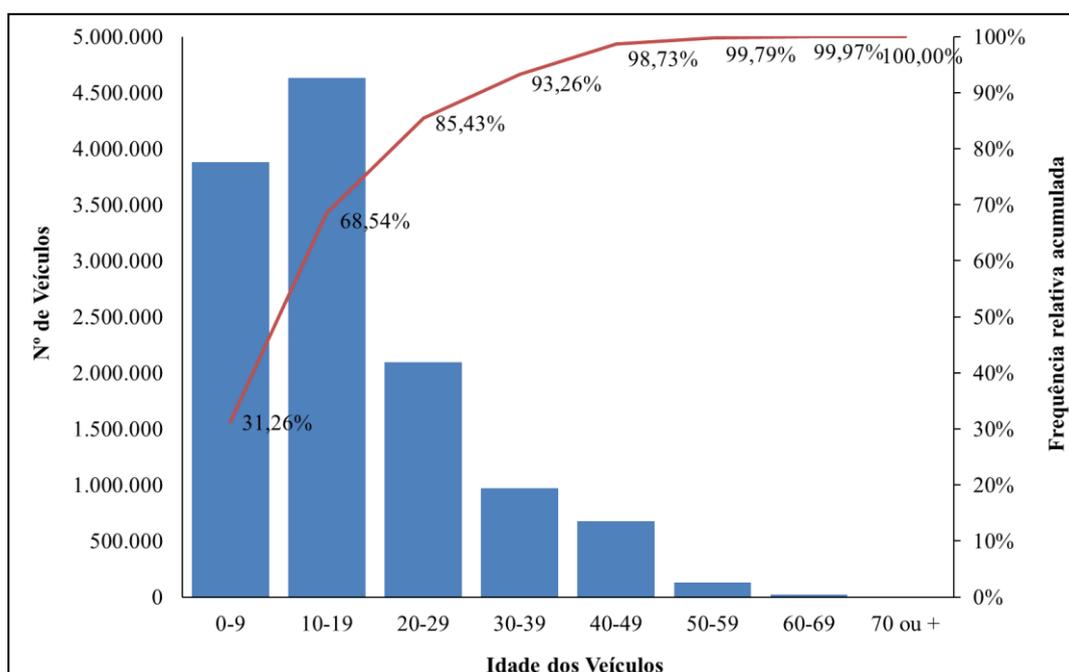


Figura 3: Participação da frota circulante de Minas Gerais por idade de fabricação em 2021

Para a verificação da existência de diferença significativa, a comparação entre os dois conjuntos de dados das bases SENATRAN e DETRAN-MG demonstrou que o total da frota e as tipologias “caminhonete” e “outros” apresentaram distribuição normal e podem ser apresentadas como média e desvio padrão. As demais tipologias veiculares devem ser apresentadas como mediana e quartis.

Na Tabela 1, são apresentados os resultados da comparação realizada para o conjunto de dados das bases DETRAN-MG e SENATRAN, no período de 2001 a 2021.

Tabela 1 – Comparação de dados de frota do DETRAN-MG e SENATRAN

	DETRAN-MG	SENATRAN	Valor de p
Total da frota - média (dp)*	7.578.907 (2.907.624)	7.686.561 (3.070.016)	0,908
Caminhonete - média (dp)*	617.366 (279.442)	550.596 (345.737)	0,495
Outros - média (dp)*	500.732 (270.826)	490.107 (278.981)	0,899
Automóveis - mediana (Q1-Q3)**	4.068.546 (2.654.438 - 5.626.617)	4.087.567 (2.641.598 - 5.714.576)	0,888
Camioneta - mediana (Q1-Q3)**	177.078 (117.949 - 277.183)	273.991 (217.456 - 316.436)	0,009
Caminhão - mediana (Q1-Q3)**	261.454 (196.009 - 322.277)	262.892 (195.675 - 324.856)	0,925
Ônibus - mediana (Q1-Q3)**	56.270 (40.259 - 68.211)	58.421 (40.705 - 73.892)	0,496
Motocicleta - mediana (Q1-Q3)**	1.760.535 (806.835 - 2.327.201)	1.770.319 (807.580 - 2.396.767)	0,742

*Teste t para amostras independentes; ** Teste de *Mann Whitney*.

Os resultados indicam diferença estatística apenas para camioneta ($p = 0,009$), com maior valor na base SENATRAN. Fica evidenciado que as fontes diferentes de frota possuem bases semelhantes, o que sugere uma confiabilidade nos valores apresentados, com exceção dos dados de camioneta que precisariam ser averiguados quanto a possíveis eventualidades no momento de seu registro.

A previsão da geração de VFV's é apresentada na Figura 4, os valores obtidos no modelo temporal de previsão HOLT para o ano de 2030 foi de 72.791 VFV's.

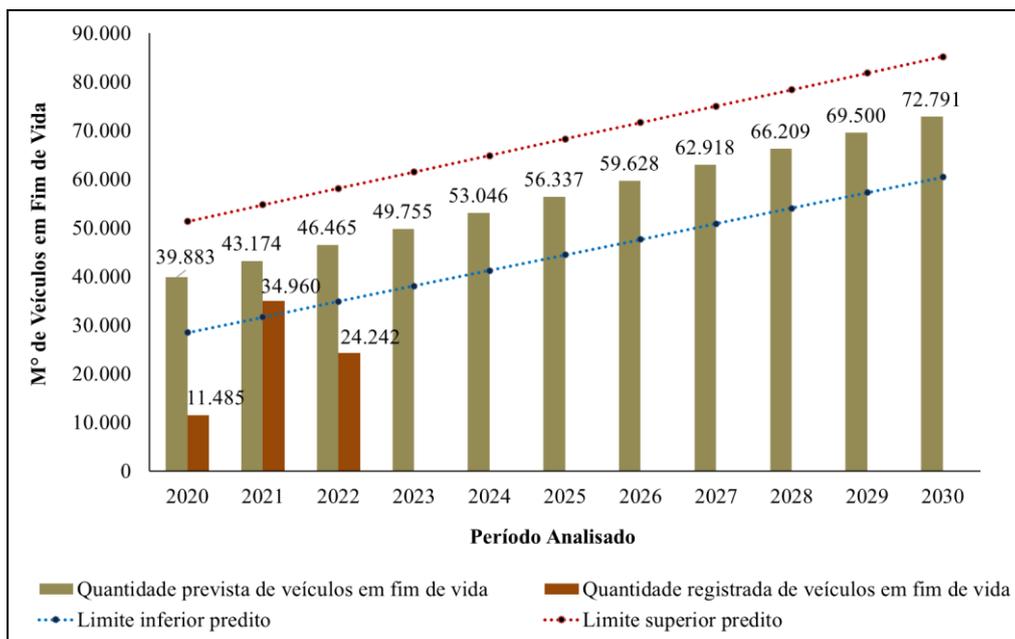


Figura 4: Previsão da geração de Veículos em Fim de Vida em Minas Gerais até 2030

Portanto, considerando a massa média de veículos sucatas inservíveis leiloadas no Estado de Minas Gerais cujo valor corresponde a 518,81 Kg/VFV e considerando a geração obtida na Figura 4, pode-se afirmar que são esperadas para destinação final ambientalmente adequada 37.765 toneladas de resíduos sólidos provenientes do descarte de VFV's no Estado para o ano de 2030.

ANÁLISE E DISCUSSÃO

No Estado, é vigente a Lei nº 21.067 de 2013 que estabelece que os caminhões registrados no DETRAN-MG com data de fabricação igual ou superior a 30 anos estão aptos à renovação da frota, devendo estes ser destinados à reciclagem (MINAS GERAIS, 2013).

Muito similar a esta iniciativa, é o Programa Renovar (BRASIL, 2022), que também elege caminhões além de ônibus e outros tipos veiculares que atendam aos seus critérios de elegibilidade definidos em regulamento, para serem baixados e reciclados, sendo estes, os tipos presentes na parcela mais envelhecida da frota em circulação.

Ambos os programas são independentes e foram criados em momentos distintos, mas possuem objetivo similar, de retirar veículos de carga obsoletos de circulação pois estes são mais propensos a emitir poluentes e oferecem menos segurança viária, por isso a idade de fabricação é um importante critério de seleção.

Pela Figura 3, observa-se que 14,57 % da frota circulante se enquadram pela idade de fabricação, todavia, não foi possível aferir a parcela de caminhões, pois a SENATRAN não disponibiliza o registro do ano de fabricação por tipologia veicular, uma vez que esta informação não está compilada e consolidada no Sistema RENAVAL.

Segundo a SENATRAN, é necessário desenvolver uma ferramenta de busca para extrair os dados e realizar a consolidação das informações, o que exige trabalho adicional, sendo este o motivo justificado com amparo no inciso III, do art. 13 do Decreto nº 7.724 de 2012, que regulamenta a Lei de Acesso à informação - LAI.

Por outro lado, a Lei Ordinária nº 23.592 de 2020 cria o Programa de Reciclagem de Resíduos Veiculares – PRPV, que dispõe sobre o incentivo à progressiva substituição de veículo obsoleto, mediante a facilitação da aquisição de veículo novo ou seminovo, considerando veículo obsoleto aquele com mais de 20 anos de fabricação, sem distinção da tipologia veicular (MINAS GERAIS, 2020).

Assim, também pela Figura 3, pode-se afirmar que 31,46 % da frota circulante no Estado são obsoletas. Mantidas suas disposições originais, a citada lei a partir da vigência de seu decreto regulamentador em Minas Gerais, demandará progressivamente a correta destinação de 3,66 milhões de veículos que tornar-se-ão sucata.

A geração de VFV's interfere diretamente no equilíbrio do fornecimento da cadeia reversa a ser utilizada. Esta geração se descortina em duas vertentes, a geração potencial a geração natural.

A geração potencial é a geração de veículos que podem deixar de circular ao se enquadrarem nos critérios de elegibilidade de programas de renovação da frota ou ao serem reprovados em programas de inspeção veicular, cujos valores quantificados estão supracitados.

A geração natural é a geração de veículos que se tornam sucatas em virtude de seu uso original, deixam de circular por irreversibilidade mecânica, falta de manutenção, obsolescência, sinistro de grande monta, descaracterização (ações criminosas) ou quando destruídos em desastres naturais (inundações).

Além disso, os valores observados e preditos na Figura 4 referem-se à geração natural, a diferença entre eles se justifica pela ocorrência da pandemia da Covid-19, pois neste período os leilões ocorriam em formato presencial e as medidas de isolamento decretadas levaram ao cancelamento de 18 leilões entre março e outubro de 2020.

O recolhimento de grande parte da população durante o período de isolamento, reduziu o número de veículos em circulação, logo, os riscos de acidentes diminuíram, incluindo os sinistros de grande monta, sendo esta uma das fontes de geração de VFV's.

Segundo o Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito – RENAEST, o menor registro de acidentes de todo o histórico monitorado desde 2018 é do ano de 2020, com queda vertiginosa de 45,10% de fevereiro a abril, referente ao período crítico da pandemia.

De 2021 para 2022, o número de apreensões de veículos nos pátios credenciados do DETRAN-MG apresentou uma redução de 30 %, influenciada pela redução de apreensões judiciais e outros impedimentos, interferindo diretamente nos resultados obtidos na Figura 4.

A geração de resíduos sólidos é diretamente influenciada pelas diferentes tipologias veiculares que se tornaram sucatas, automóveis, caminhões, motocicletas dentre outros tipos veiculares apresentam grandes variações de massa entre si, portanto, recomenda-se em futuros trabalhos analisar a geração de VFV's por tipo veicular, a partir da existência de dados disponíveis.

Soma-se a isso a necessidade de aperfeiçoamento do sistema de gestão de dados de baixas veiculares utilizado pelo DETRAN-MG, a falta de séries históricas destes dados, motivou realizar a análise preditiva neste trabalho a partir do quantitativo de veículos sucata leiloados, que responde pela maioria dos veículos descartados.

A falta de transparência no acesso a dados reais e informações é o principal entrave em análises preditivas sobre estes veículos, evidenciando a grande limitação existente na gestão de dados entre os diferentes atores envolvidos na sua geração.

A massa de resíduos sólidos previstas para o Estado em 2030, impõe um esforço crescente ao setor público e privado para a implementação de estratégias eficazes na destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos a serem gerados.

A indicação no Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PLANARES (BRASIL, 2022) de incluir os VFV's como um dos próximos sistemas de logística reversa a serem homologados no Brasil, confere ainda mais relevância neste contexto, imprimindo a importância deste trabalho para futuras pesquisas a serem realizadas no tema.

CONCLUSÕES

A partir do trabalho realizado, concluiu-se que:

O crescimento anual vertiginoso em circulação expõe o tamanho do desafio para o tratamento de futuros resíduos veiculares no estado de Minas Gerais, especialmente em razão da desarticulação entre políticas públicas para o controle da geração.

A composição da frota revela a soberania dos veículos leves, seus materiais constituintes se tornam balizadores dos processos de reprocessamento e valorização e das cadeias reversas a serem demandadas.

A idade média da frota indica um aumento de veículos obsoletos dentro de um curto período de tempo, cenário que pode intensificar a geração de VFV's nos próximos anos.

A geração prevista em vista dos valores observados indica que os valores são influenciados diretamente por intervenções políticas e econômicas, pela limitação de dados reais e transparência de informações.

Recomenda-se a elaboração de estudos similares nos demais entes federativos, de maneira a se obter um prognóstico de geração no país, considerando as características dos diferentes estados federados e a autonomia de competência estadual para a gestão de veículos automotores.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos da UFMG (PPG-SMARH) pelo apoio no desenvolvimento do trabalho e ao Departamento de Trânsito de Minas Gerais (DETRAN-MG) pela disponibilização dos dados utilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Lei nº 14.440, de 02 de setembro de 2022. Institui o Programa de Aumento da Frota Rodoviária no País (Renovar) [...]. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 dez. 2022, sec. 1, p. 1.
2. BRASIL. Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2022, sec. 1, p. 2.
3. D'ADAMO, I.; GASTALDI, M.; ROSA, P. Recycling of end-of-life vehicles: assessing trends and performances in Europe. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 152, p. 119887, 2020.
4. EUROSTAT. Total de reutilização, reciclagem e recuperação de veículos em fim de vida. 2020. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_waselvt/default/table?lang=en>. Acesso em: 12 mar. 2023.
5. FANG, XIN.; NI, S.; LI, H.; ZHOU, X. General regression neural network and artificial-bee-colony based general regression neural network approaches to the number of end-of-life vehicles in China. *IEEE Access*, v. 6, p. 19278-19286, 2018.
6. JANG, Y. C.; CHOI, K.; JEONG, J. H.; KIM, H.; KIM, J. G. Recycling and material-flow analysis of end-of-life vehicles towards resource circulation in South Korea. *Sustainability*, v. 14, n. 3, p. 1270, 2022.
7. LIN, H. T.; ISHIRARA, K.; NAKAJIMA, K.; YAMASUE, E. Recycling of end-of-life vehicles in small Islands: the Case of Kinmen, Taiwan. *Sustainability*, v. 10, n. 12, p. 4377, 2018.
8. MINAS GERAIS. Lei nº 21.067, de 27 de dezembro de 2013. Dispõe sobre o Programa de Incentivo à Renovação da Frota de Caminhões no Estado. Diário Oficial do Estado, Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 28 dez. 2013, Caderno 1, p. 8.
9. MINAS GERAIS. Lei nº 23.592, de 09 de março de 2020. Dispõe sobre o Programa de Reciclagem de Resíduos Veiculares - PRRV e dá outras providências. Diário Oficial do Estado, Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 28 dez. 2013, Caderno 1, p. 2.
10. MODOI, O. C.; MIHAI, F. C. E-Waste and end-of-life vehicles management and circular economy initiatives in Romania. *Energies*, v. 15, n. 3, p. 1120, 2022.
11. NUMFOR, S. A.; ZHANG, Z.; MATSUBE, K.; OMOGA, G. B. A review of challenges and opportunities for end-of-life vehicle recycling in developing countries and emerging economies: A swot analysis. *Sustainability*, v. 13, n. 9, p. 4918, 2021.
12. OICA. Estatística global de venda de veículos automotores 2019-2022. Organização Internacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em: <<https://www.oica.net/category/sales-statistics/>>. Acesso em: 11 mar. 2023.



13. SENATRAN. Frota de veículos. Secretaria Nacional de Trânsito. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>>. Acesso em: 12 mar. 2023.
14. SOUZA, J. A. F.; SILVA, M. M.; RODRIGUES, S. G.; SANTOS, S. M. A forecasting model based on ARIMA and artificial neural networks for end-of-life vehicles. *Journal of Environmental Management*, v. 318, p. 115616, 2022.