



Desenvolvimento sustentável: uma proposta para descarbonização de frotas de veículos

Sustainable development: a proposal for decarbonizing vehicle fleets

Filipe Cardoso Brito¹

Hugo Saba²

Hélio Souza de Cristo³

Toni Borges⁴

Marcio Luis Valença Araújo⁵

Eduardo Manuel de Freitas Jorge⁶

Aloísio Santos Nascimento Filho⁷

Resumo

O objetivo deste artigo é propor um modelo para auxiliar a aquisição de frotas de veículos. A proposta baseia-se em utilizar características veiculares, tais como: níveis de emissões de poluentes, consumo energético, categoria veicular, transmissão e motorização. Idealizando

¹ Especialista em Engenharia da Confiabilidade pelo Centro Universitário SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã, Salvador - BA, CEP:41650-010. E-mail: filipe.brito@aln.senaicimatec.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7501-4907>

² Doutor em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), Av. Reitor Miguel Calmon, Vale do Canela, s/n, Salvador - BA, CEP: 40110-100. E-mail: hugosaba@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8402-6416>

³ Doutor em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), Av. Reitor Miguel Calmon, Vale do Canela, s/n, Salvador - BA, CEP: 40110-100. E-mail: helio-87@hotmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1219-9304>

⁴ Mestre em Gestão e Tecnologias Aplicadas à Educação pela Universidade do Estado da Bahia, Rua Silveira Martins, 2555, Cabula, Salvador - BA, CEP: 41180-045. E-mail: toni@toniborges.eti.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2376-0160>

⁵ Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologias Industriais pelo Centro Universitário SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã, Salvador - BA, CEP: 41650-010. E-mail: marcioaraujo@ifba.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5504-8584>

⁶ Doutor em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), Av. Reitor Miguel Calmon, Vale do Canela, s/n, Salvador - BA. E-mail: emjorge1974@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8597-5805>

⁷ Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologias Industriais pelo Centro Universitário SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã, Salvador - BA, CEP: 41650-010.
E-mail: aloisio.nascimento@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5601-8459>

um processo avaliativo com base na análise multicritério, que ajude à tomada de decisões no momento da aquisição de veículos considerando vários critérios. Com a finalidade de gerar listas de veículos que apoiem a escolha do consumidor, no que tange a descarbonização de frotas, contribuindo na redução dos impactos resultantes das emissões de gases nas grandes cidades.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Descarbonização. Veículos.

Abstract

The objective of this paper is to propose a model to assist in the acquisition of vehicle fleets. The proposal is based on the use of vehicle characteristics such as pollutant emission levels, energy consumption, vehicle category, transmission, and motorization. Idealizing an evaluative process based on multi-criteria analysis, to help decision-making when acquiring vehicles considering several criteria. With the purpose of generating lists of vehicles that support the consumer's choice, regarding the decarbonization of fleets, contributing to the reduction of impacts resulting from gas emissions in large cities.

Keywords: Sustainability. Decarbonization. Vehicles.

Introdução

Nos grandes centros urbanos, o transporte rodoviário tem sido um dos principais fatores que tem contribuído para a má qualidade do ar e que resulta em vários perigos para a saúde humana. Este não é apenas um problema próximo de estradas com tráfego intenso ou de locais com grande circulação de veículos, que são frequentemente antigos e não cumprem as normas ambientais atuais (Matsumoto, 2022; Zhu et al, 2021). Além disso, sabe-se que o transporte rodoviário também tem sido um dos responsáveis pela emissão de uma quantidade significativa de gases com efeito de estufa (GEE) (Hurlimann, Moosavi, & Browne, 2021). Reduzir as emissões de gás carbônico (CO_2), responsável pelo aquecimento da superfície do planeta, e os óxidos de azoto (NO_x), responsáveis pela redução da camada de ozono, geradores de chuva ácida (Grigorieva, & Lukyanets, 2021; Matsumoto, 2022; Dzikuc, Adamczyk, Piwowar, 2017).

A Figura 1 mostra uma linha temporal de acordos e conferências internacionais. O Protocolo de Quioto, em 1992, uma referência à redução das emissões de GEE e conseqüentemente dos seus efeitos, propôs objetivos, especialmente aos países desenvolvidos, para conter os GEE. As Conferências das Partes, especialmente o Acordo de Paris (COP21)

foi o primeiro acordo universal a definir medidas para reduzir os efeitos das alterações climáticas. O principal objetivo do Acordo de Paris era manter o aumento da temperatura global bem abaixo dos 2°C, para assegurar um futuro com baixo teor de carbono, adaptável, próspero e justo para todos (Chomsky, & Pollin, 2020). O COP26 reforçou o discurso para reduzir a emissão de GEE na atmosfera e descarbonização da atividade industrial, incluindo a utilização de combustíveis fósseis para veículos. Os países e vários segmentos industriais foram provocados a rever a sua posição sobre o assunto para se adaptarem a políticas climáticas mais rigorosas (Brozynski, & Leibowicz, 2018).

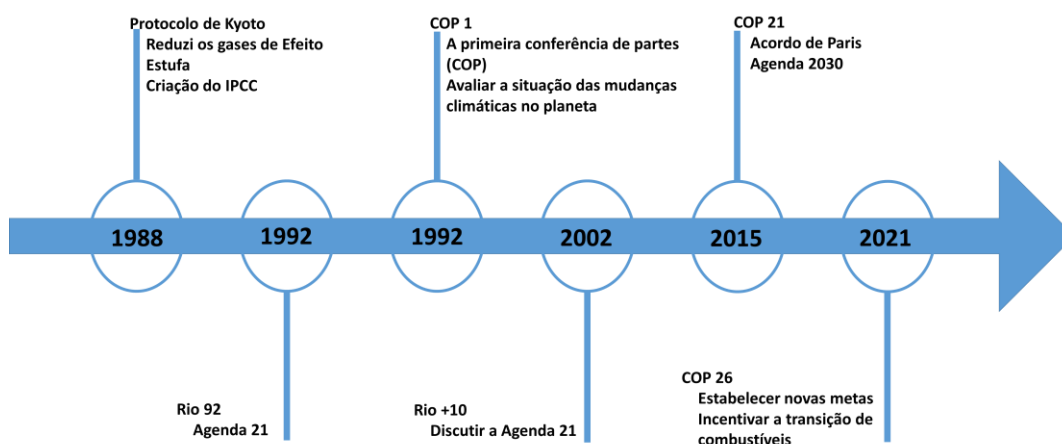


Figura 1. Linha do tempo com os principais acordos Internacionais sobre o tema, fonte autores (2023).

Os principais responsáveis pelas emissões são os veículos automóveis (Hurlimann., S., & Browne, 2021; Correia et al, 2021). Grandes cidades como Londres (Reino Unido), Paris (França) e São Paulo (Brasil) adotaram ações para restrições o tráfego como medida para tentar reduzir os impactos da má qualidade do ar como medida stop-gap (Fenton, 2017). O Brasil apresentou objetivos ambiciosos na COP21. O país assinou um acordo para reduzir as emissões de carbono em 50% até 2030; parar o desmatamento ilegal até 2028 (15% por ano até 2024, 40% em 2025 e 2026, e 50% em 2027, em comparação com 2022); restaurar e reflorestar 18 milhões de hectares de florestas até 2030; alcançar, até 2030, a quota de 45% a 50% de energias renováveis na composição da matriz energética e recuperar 30 milhões de hectares de pastagens degradadas, além de incentivar a expansão da rede ferroviária (Chomsky & Pollin, 2020; Lima et al, 2020).

Iniciativas públicas no Brasil como o PROCONVE e o programa Inovar Auto, que decorreu entre 2013 e 2017, procuraram encorajar as indústrias automóvel, os produtores de veículos, e as autopeças, a produzir veículos e equipamentos com maior eficiência energética e menos emissões. O programa Rota 2030 visa expandir o âmbito do projeto com investigação e desenvolvimento ao longo de toda a cadeia de produção automóvel, envolvendo mais

2.1 Coleta de Dados

A lista de informação sobre veículos é uma representação da base de dados do Selo Nacional de Conservação de Energia (PBE) utilizada em todos os veículos vendidos no Brasil. Essa base de dados fornece informações, tais como modelo de veículo, categoria, configuração do motor, tipo de combustível, eficiência energética, emissão de poluentes, e outras informações (INMETRO, 2023).

E a emissão da gama de poluentes representa o Programa Brasileiro de Controle de Emissões de Veículos (PROCONVE), Lei Brasileira n.º 13,755/2018. Entre os seus objetivos está incluída a redução dos níveis de emissão de poluentes pelos veículos a motor para cumprir as Normas de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos. As normas PROCONVE baseiam-se nas normas dos Estados Unidos da América (EUA) e da União Europeia (UE) de regulamentação de veículos de emissão (INMETRO, 2022).

2.2 Pré-Processamento dos Dados

Nesta etapa, as bases de dados PBE e de licenciamento foram relacionadas. Os dados de licenciamento para o período são fornecidos pela Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automóveis (ANFAVEA). A Tabela 1 pode-se observar o número de licenças por grupo de veículos. Um novo conjunto de dados, formado por ano, categoria, fabricante, modelo, versão, motor, transmissão, combustível, NMHC Emissões, CO_2 Emissões, NO_x Emissões, CO Emissões, e consumo energético.

Ano	Número de automóveis	Número de comerciais leves	Número de caminhões	Número de ônibus	Total de Veículos
2012	3.115.223	518.960	139.174	28.714	3.802.071
2013	3.040.783	539.113	154.576	32.898	3.767.370
2014	2.794.687	538.796	137.055	27.474	3.498.012
2015	2.123.009	357.523	71.652	16.792	2.568.976
2016	1.688.289	300.307	50.560	11.161	2.050.317
2017	1.856.580	319.404	51.943	11.755	2.239.682
2018	2.102.114	373.224	76.005	15.081	2.566.424
2019	2.262.073	403.510	101.335	20.932	2.787.850
2020	1.615.942	338.877	89.678	13.940	2.058.437
2021	1.558.467	418.643	128.679	14.062	2.119.851

Tabela 1. Número da frota brasileira de veículos licenciados, adaptado da ANFAVEA (2022).

2.3 Organização dos Dados

O objetivo desta etapa é estruturar os parâmetros a serem utilizados na etapa do método de análise multicritério. Para isso foi necessário definir quais são os critérios e os argumentos que comprovam/justificam seus parâmetros. A Figura 3 apresenta critérios e parâmetros definidos. Observa-se que a análise não pode ser baseada em um único critério, pois com apenas um ou dois critérios há uma tendência na hora de ranquear os veículos.

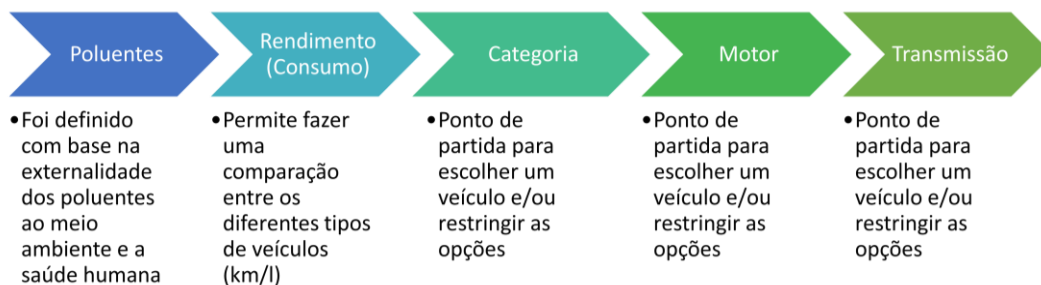


Figura 3. Detalhamento dos critérios, fonte autores (2023).

A opção utilizada para definir os parâmetros dos subcritérios de emissão foi avaliar individualmente cada gás poluente, pois cada um possui efeitos diferentes. Como a tabela do PBE fornece as informações quantitativas dos gases e do consumo energético, a opção escolhida para definir os subcritérios foi distribuir igualmente estas informações em grupos homogêneos. Sobre as categorias de veículos, a opção escolhida foi propor uma nova classificação, cinco grupos, considerando as similaridades, uma vez que há um elevado número de categorias (Tabela 3). Com relação a análise dos motores, a opção escolhida foi propor uma nova classificação em cinco grupos com base no número de cilindradas (Tabela 4).

Grupo de veículo	Categorias que a compõe
Pequeno	Micro Compacto, Sub Compacto e Compacto
Médio – Grande	Médio, GRAE, Grande e Extra Grande
Utilitário	Utilitário Esportivo, Utilitário Esportivo Compacto, Utilitário Esportivo Grande, Utilitário Esportivo Compacto 4x4 e Utilitário Esportivo Grande 4x4
Trabalho	Minivan, Comercial, Carga Derivado, Picape Compacta e Picape
Luxo	Fora De Estrada, Fora De Estrada Compacto, Fora De Estrada Grande e Esportivo

Tabela 2. Nova classificação dos grupos de veículos, fonte autores (2023)

Grupo dos Motores	Faixa da capacidade dos motores
A	$\leq 1,500\text{cc}$
B	$1,600\text{cc} \geq e \leq 2,000\text{cc}$
C	$2,100\text{cc} \geq e \leq 2,900\text{cc}$
D	$\geq 3,000\text{cc}$
E	Motores elétricos

Tabela 3. Classificação dos grupos de motores, fonte autores (2023)

2.4 Perfil do Usuário

Após definir os parâmetros e organizar os dados para a análise, a próxima etapa foi elaborar um algoritmo, onde através de poucas interações se torna possível gerar uma lista de veículos de acordo com as suas preferências, como demonstra a Figura 4.

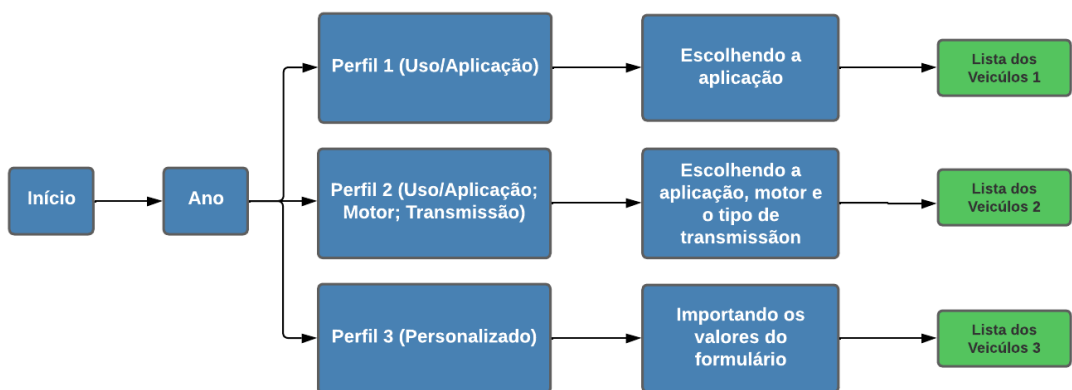


Figura 4. Diagrama de fluxo do usuário, fonte autores (2023).

2.5 Aplicação da Análise Multicritério

Para os pesos das emissões ficaram estabelecidos que a relação deve ser feita com base nos poluentes, em especial sobre os danos e impactos provocados ao meio ambiente e a saúde humana. Para definir a relação dos grupos dos homogêneos dos valores dos gases, ficou estabelecido como argumento que quanto menor os valores, menos gases foram gerados quando comparado com os outros grupos e mais importante é o grupo. Para avaliar consumo energético, foi estabelecido como principal argumento de que quanto menor o valor o consumo energético, maior será a autonomia do veículo. Para definir a relação dos grupos de veículo, decidiu avaliar a média dos valores do consumo energético desses grupos, quanto

menor os valores, menos gases foram gerados quando comparado com os outros grupos e mais importante é o grupo, utilizou essa mesma lógica para transmissão e motor.

A Figura 5, mostra uma estrutura hierárquica em níveis, em que o Nível 1 (cor azul) é o alvo do estudo, contendo informações do veículo, o Nível 2 (cor verde) são os critérios para esta análise, Nível 3 (Cinza) são os subcritérios de cada critério, no Nível 4 (cor branca) são os sub-subcritérios do critério de Emissões.

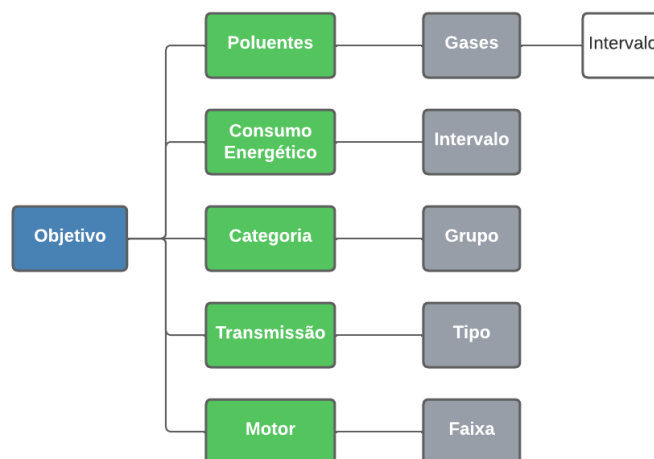


Figura 5. Hierarquia, fonte autores (2023).

Discussão

Dado o contexto de promover a escolha de veículos, fica evidente que a forma em que os dados são oferecidos aos consumidores não consegue deixar claro para o consumidor o que ele está comprando. Para contornar essa situação, por meio deste trabalho, buscou desenvolver uma nova classificação desses dados, representados no item 2.3 e 2.5 e, a partir de poucas interações, se torna possível gerar uma lista de veículos de acordo com as suas preferências, como demonstra a Figura 4. Contudo, para evidenciar as diferenças entre as versões, optou-se por classificar os parâmetros em grupos homogêneos diferentes, mas se quiser enfatizar entre as versões.

Além disso, buscou-se desenvolver uma metodologia que possa ajudar o gestor ao renovar sua frota a contribuir para escolhas mais adequadas, no que tange às pressões ambientais. Uma vez que está ocorrendo a transição da matriz energética dos veículos e a construção da infraestrutura para atender os novos veículos. Neste trabalho, optou-se em não estabelecer o parâmetro financeiro porque existem diversas opções de fabricantes, oportunidades de compras e outros elementos que interferem no preço.

Conclusão

Esse trabalho propõe um método de multicritério de decisão, para auxiliar principalmente o gestor da frota escolher opções de veículos com base nas suas preferências. O método gerar listas de veículos a partir de informações disponíveis a partir de bases de dados tratadas. Fornecendo parâmetros para facilitar a escolha do consumidor buscando a descarbonização de frotas. A principal contribuição da pesquisa está em oferecer informações gerenciais para consumidores, entre eles gestores de frotas, para, a partir de uma análise técnica preestabelecida, descobrir quais são os veículos mais indicados para um determinado uso e/ou condição.

Referências

- Matsumoto, M., Kiyomizu, T., Yamagishi, S., Kinoshita, T., Kumpitsch, L., Kume, A., & Hanba, Y. T. (2022). Responses of photosynthesis and long-term water use efficiency to ambient air pollution in urban roadside trees. *Urban Ecosystems*, 25(4), 1029-1042;
- Zhu, L., Ranasinghe, D., Chamecki, M., Brown, M. J., & Paulson, S. E. (2021). Clean air in cities: Impact of the layout of buildings in urban areas on pedestrian exposure to ultrafine particles from traffic. *Atmospheric Environment*, 252, 118267.
- Dzikuć, M., Adamczyk, J., & Piwowar, A. (2017). Problems associated with the emissions limitations from road transport in the Lubuskie Province (Poland). *Atmospheric Environment*, 160, 1-8;
- Hurlimann, A., Moosavi, S., & Browne, G. R. (2021). Urban planning policy must do more to integrate climate change adaptation and mitigation actions. *Land Use Policy*, 101, 105188;
- Grigorieva, E., & Lukyanets, A. (2021). Combined effect of hot weather and outdoor air pollution on respiratory health: Literature review. *Atmosphere*, 12(6), 790;
- Chomsky, N., & Pollin, R. (2020). *Climate crisis and the global green new deal: The political economy of saving the planet*. Verso Books;
- Brozynski, M. T., & Leibowicz, B. D. (2018). Decarbonizing power and transportation at the urban scale: An analysis of the Austin, Texas Community Climate Plan. *Sustainable cities and society*, 43, 41-54;
- Correia, A. M., Costa, C., Gonçalves, D., Henriques, G., Correia, C., & Almeida, S. M. (2021). Estudo da exposição da população a poluentes do ar nos transportes em ambiente urbano: artigo de revisão. *Saúde & Tecnologia*, (25), 38-47;
- Fenton, P. (2017). Sustainable mobility in the low carbon city: Digging up the highway in Odense, Denmark. *Sustainable Cities and Society*, 29, 203-210.
- Lima, M. A., Mendes, L. F. R., Mothé, G. A., Linhares, F. G., de Castro, M. P. P., Da Silva, M. G., & Sthel, M. S. (2020). Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. *Environmental Development*, 33, 100504;

- Junior, J. A. C., & Santos, L. B. (2020). Estado e Indústria Automobilística no Brasil: Análise das Políticas Inovar-Auto e Rota 2030. *ENTRE-LUGAR*, 11(21), 101-127;
- Saaty, T. L. (2005). *Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks*. RWS publications.
- INMETRO (2023). *Dados dos veículos leves aprovados no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) autorizados a ostentar a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)*. Retrieved from INMETRO: <https://www.gov.br/inmetro/ptbr/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculosautomotivos-pbe-veicular>;
- Posada, F., Chambliss, S., & Blumberg, K. (2016). Costs of emission reduction technologies for heavy-duty diesel vehicles. *ICCT White paper*.
- INMETRO. (2022). *Programa de controle de emissões veiculares (Proconve)*. Retrieved from Site do IBAMA: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/emissoes/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>;
- ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. (2021). *Anuário da indústria automobilística brasileira*. São Paulo: IPSIS, 1320 p;

Submetido em: 08.03.2023

Aceito em: 11.04.2023