INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

João Carlos Daniel Barros

O desempenho de ônibus elétricos à bateria em São Paulo em condições diferentes de temperatura do ar

Trabalho de Graduação
2022

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

CDU 656.1

João Carlos Daniel Barros

O desempenho de ônibus elétricos à bateria em São Paulo em condições diferentes de temperatura do ar

Orientador

Prof. Dr. Eduardo Moraes Arraut - ITA

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Barros, João Carlos Daniel
O desempenho de ônibus elétricos à bateria em São Paulo em condições diferentes de temperatura do ar / João Carlos Daniel Barros.
São José dos Campos, 2022.
43f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2022. Orientador: Prof. Dr. Eduardo Moraes Arraut

1. Transporte rodoviário. 2. Baterias elétricas. 3. Ônibus. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. O desempenho de ônibus elétricos à bateria em São Paulo em condições diferentes de temperatura do ar

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA (NEGRITO, TAMANHO 12)

Barros, João Carlos Daniel. **O desempenho de ônibus elétricos à bateria em São Paulo em condições diferentes de temperatura do ar**. 2022. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: João Carlos Daniel Barros
TÍTULO DO TRABALHO: O desempenho de ônibus elétricos à bateria em São Paulo em condições diferentes de temperatura do ar
TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) / 2022

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

João Carlos Daniel Barros

João Carlos Daniel Barros
Rua H8B, 223
CEP: 12228-461, São José dos Campos - SP

O desempenho de ônibus elétricos à bateria em São Paulo em condições diferentes de temperatura do ar

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

João Carlos Daniel Barros

João Carlos Daniel Barros

Autor

Prof. Dr. Eduardo Moraes Arraut

Orientador

Prof. Dr. Evandro José da Silva

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 17 de Novembro de 2022

Dedico este trabalho a todos os familiares, amigos e professores que me apoiaram ao longo de toda essa jornada.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente a minha família pelo apoio incondicional, incentivo e inspiração desde criança.

Aos amigos pelo apoio, carinho e bons momentos compartilhados.

Aos colegas do ICCT, Ana Beatriz Rebouças, por todo o acompanhamento e orientação durante meu estágio, Carmen Araújo, pelo suporte e oportunidade.

Ao meu professor orientador, Dr. Eduardo Moraes Arraut, pelos conselhos, dedicação e incentivo para realizar esse trabalho.

"Se queres provar o futuro, estuda o passado".

(Confúcio)

Resumo

As emissões de gases de efeito estufa têm alcançado níveis preocupantes, podendo causar danos irreversíveis para toda a vida terrestre. No setor de transporte rodoviário, responsável por grande parcela dessas emissões, a utilização de energias limpas tem sido cada vez mais discutidas e implementadas em diversos países. A tecnologia de ônibus elétricos a bateria tem sido muito promissora e está em fase inicial de implementação no transporte urbano brasileiro. No entanto, por ter um custo inicial alto e uma autonomia menor quando comparada às tecnologias convencionais, sua adoção tem sido lenta, sendo necessário um melhor entendimento e controle da performance dessa tecnologia. Nesse estudo obteve-se uma correlação entre distância, energia regenerativa, velocidade e temperatura com o consumo energético das baterias. Observa-se que dias com maior distância percorrida ou velocidade média têm uma tendência de apresentar um maior percentual de energia regenerada pelas frenagens e um menor consumo energético. Para operações em dias mais frios, também obteve-se um maior desempenho no consumo de energia, o que pode estar relacionado com o menor consumo do ar-condicionado. Nossos resultados demonstram que o planejamento de rotas, com possíveis linhas exclusivas de trânsito de ônibus, além da adoção de aparelhos auxiliares cada vez mais eficientes podem impactar bastante no consumo energético dos veículos elétricos. Espera-se que essas análises promovam uma maior visibilidade para o tópico e incentivem a exploração dessa tecnologia, resultando na adoção mais rápida de transporte limpos no país.

Abstract

The emissions of greenhouse gases have reached alarming levels, and may cause irreversible damage to all life on earth. In the road transport sector, responsible for a large portion of these emissions, the use of clean energy have been increasingly discussed and implemented in several countries. The battery electric buses technology has been very promising and is in early stages of implementation in brazilian urban transport. However, due to it's high inicial cost and limited range, it's adoption has been slow, requiring a better understanding and control of the performance of this technology. In this study, we obtained a relationship between distance, regenerated energy, speed, and temperature with the energy consumption of the batteries. We showed that days with longer traveled distance and higher average speed generate not only a higher percentage of braking regenerative energy, but also a lower energy consumption. For operations on colder days, we also obtained a higher battery efficiency, related to the consumption of auxiliary devices, such as air conditioning. Our results show that route planning, with possible exclusive bus transit lines, as well as the adoption of increasingly efficient auxiliary devices can greatly impact the energy consumption of electric vehicles. We hope that these analysis will promote greater visibility for the topic and encourage the exploration of this technology, resulting in a fast adoption of clean transportation in the country.

Lista de Figuras

FIGURA 1 - Taxa da população urbana e rural entre o período de 1950 e a projetada para 2050 (United Nations, 2019). 15

FIGURA 2 - Trajetórias de estabilidade da Terra desde o holoceno até situações mais quentes, no antropoceno. 16

FIGURA 3 – Análise do IPCC em 2022 sobre a mudança da temperatura em relação ao período de 1850 a 1900, adotando diversos cenários de mudanças socioeconômicas (SSP). 18

FIGURA 4 - Percentual de emissão de CO2 dentro do setor de transporte (Climate Watch, 2016). 19

FIGURA 5 – Comparação entre as emissões estimadas de CO2 para diferentes fases de substituição da frota de ônibus na espanha (GRIJALVA; MARTINEZ, 2019) 20

FIGURA 6 - Influência da condução agressiva no consumo energético (LAJUNEN et al., 2018). 21

FIGURA 7 - Consumo energético e Temperatura Ambiente em função do mês analisado (AL-WREIKAT; SERRANO; SODRE, 2022). 22

FIGURA 8 – Painel contendo, a Rota de ônibus 6030-10 da cidade de São Paulo. 24

FIGURA 9 - Histograma da Distância Percorrida nas viagens. Em uma coloração mais clara, estão os dados excluídos, com distância inferior a 1 km. 28

FIGURA 10 - Distribuição do Horário de início das viagens 28

FIGURA 11 – Histograma da Distância Percorrida diária. Em uma coloração mais clara, estão os dados excluídos, com distância menor que 50 km. 29

FIGURA 12 - Histograma do Consumo 29

FIGURA 13 – Painel contendo Gráficos de Correlação entre as variáveis das bases de dados agregadas por viagem e por dia, respectivamente. 30

FIGURA 14 – Relação entre o consumo energético e a velocida média da viagem, com a tendência linear. 31

FIGURA 15 - Relação entre o consumo energético e a temperatura da hora de início da viagem, com a tendência linear. 32

FIGURA 16 – Boxplot do consumo energético e o horário de operação. 32

FIGURA 17 - Boxplot da variação da Autonomia ao longo dos meses analisados 33

FIGURA 18 - Gráfico de dispersão do consumo energético e distância percorrida. A linha vermelha tracejada representa a divisão entre os dados excluídos e aqueles utilizados para

análise. 34

FIGURA 19 - Gráfico de Dispersão do consumo energético ao longo do tempo, onde os círculos amarelados representam dias com maior média de temperatura, enquanto os azuis dias de menor temperatura. Em vermelho temos a tendência com a linha LOESS. 35

FIGURA 20 – Relação entre o consumo energético e a temperatura média diária, com a tendência linear. 35

FIGURA 21 – Relação entre o consumo energético e a média diária do percentual de energia regenerada, com a tendência linear 36

FIGURA 22 – Variação da média diária do percentual de energia regenerada ao longo dos meses analisados. 36

Lista de Tabelas

TABELA 1 - Resumo dos dados dos ônibus monitorados agregados por viagem. 25

TABELA 2 – Resumo dos dados dos ônibus monitorados agregados por dia 26

Lista de Abreviaturas e Siglas

CAN	Controller Area Network
GPS	Global positioning system
ICCT	International Council on Clean Transportation
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
LOESS	Método de Regressão Local
R	Linguagem de programação
RStudio	software livre de ambiente de desenvolvimento para R
SSP	Shared Socioeconomic Pathways
SPTrans	Secretaria Municipal de Transporte e Mobilidade Urbana da Cidade de São Paulo
TG	Trabalho de Graduação

Sumário

1 INTRODUÇÃO 14

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17

3 MATERIAIS E MÉTODOS 22

3.1 Área de estudo 22

3.2 Dados 23

3.3 Análise de dados agregados por viagem 24

3.4 Análise de dados agregados por dia 25

4 RESULTADOS 26

4.1 Análise geral dos dados 26

4.2 Análise dos dados agregados por viagem 29

4.3 Análise dos dados agregados por dia 31

5 DISCUSSÃO 36

6 CONCLUSÃO 38

REFERÊNCIAS 39

1 Introdução

Em meados do século XX a população mundial cercava os 2 bilhões, e vem crescendo a cada dia, tendo alcançado 7,7 bilhões no ano de 2019. A previsão é que esse número esteja próximo a 10 bilhões em 2050, um aumento de 400% em 1 século. Esse crescimento é caracterizado, ainda por uma maior concentração populacional em regiões urbanas, que passaram de 30% em 1950 e estima-se que alcance 70% da população mundial em 2050 (United Nations, 2019).

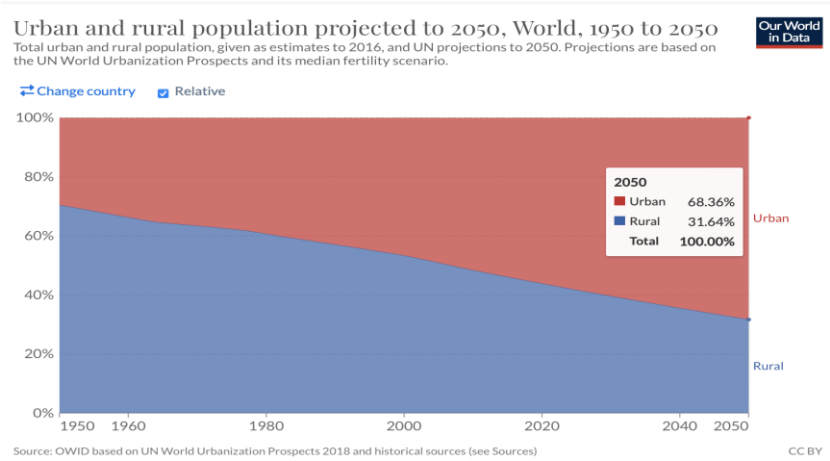


FIGURA 1 - Taxa da população urbana e rural entre o período de 1950 e a projetada para 2050 (United Nations, 2019).

Esse aumento enorme da população humana mundial, aliado ao aumento no último século do padrão de consumo dos cidadãos de países auto-denominados desenvolvidos e mais recentemente daqueles em desenvolvimento, vem por vias diretas e indiretas gerando uma extensa degradação da biosfera. Diante disso, nas últimas décadas as discussões sobre a defnição de um novo período geológico, caracterizado pela ampla influência humana e denominado de Antropoceno, têm se intensificado. Essa nova era aborda o início de uma rápida trajetória da sociedade em direção a condições climáticas mais quentes e a uma diferente biosfera, com perda da biodiversidade, de biomas, da capacidade de produção agrícola ou mesmo do suprimento de água (STEFFEN *et al.*, 2018).

A degradação do homem e as reações do planeta podem causar um efeito dominó, resultando na “Terra Estufa”, que trará mudanças irreversíveis, acelerando o processo de transição de biomas, aquecimento global, entre outros desastres no ecossistema terrestre. Dessa forma, é essencial entender qual o limite dos danos causados ao planeta pelo ser humano e como estabilizar ou reverter essas mudanças (STEFFEN *et al.*, 2018)

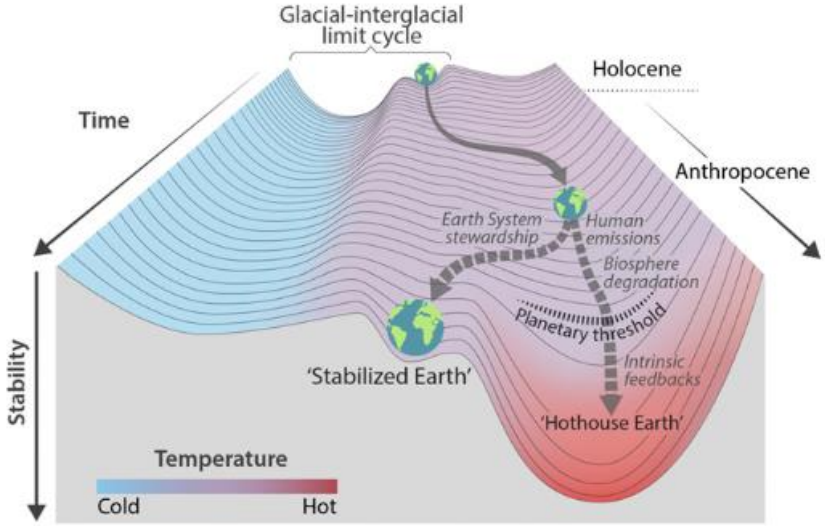


FIGURA 2 - Trajetórias de estabilidade da Terra desde o holoceno até situações mais quentes, no antropoceno (STEFFEN et al., 2018).

O impacto das ações antrópicas podem ser testemunhados atualmente pelas mudanças climáticas e suas intensas consequências no planeta, que incluem o aumento na frequência de eventos de calor e chuva extremos, derretimento das calotas polares e consequente subida do nível dos oceanos, e intensificação de incêndios florestais, dentre outras (IPCC, 2022). Atrelado a isso, a poluição causada pelo homem, especialmente em grandes centros urbanos, trouxe um aumento de problemas respiratórios, afetando anualmente a saúde de bilhões de pessoas globalmente (NAKAI, NITTA, MAEDA, 1995). Na tentativa de reverter ou ao menos reduzir esses problemas, políticas de desenvolvimento sustentável têm sido adotadas em todo o mundo como forma de mitigar os efeitos negativos do ser humano sobre a biosfera da Terra, e das alterações nos ecossistemas naturais sobre o próprio ser humano.

No setor de transporte, responsável por grande parcela das taxas de emissão mundiais de CO2 , valor que chegou a 21% em 2016 (Climate Watch, 2016), essas medidas já vem sendo tomadas. No Brasil, um exemplo é a Lei 16.802 da cidade de São Paulo de 2018 (São Paulo, 2018), que define metas gradativas de redução de emissões dos ônibus de seu sistema de transporte público e outras frotas, como caminhões de coleta de lixo. O objetivo é eliminar, até 2038, as emissões de escapamento de CO_2 fóssil e reduzir em 95% as emissões de material particulado e óxidos de nitrogênio dessas frotas.

Com relação aos ônibus de transporte público da cidade, é necessário haver uma transição tecnológica para cumprir com as metas da lei. Em 2021, apenas 1,6% da sua frota era constituída por ônibus com zero consumo de combustíveis fósseis, sendo desses 18 ônibus elétricos a bateria e 201 trólebus (SPTrans, 2021). Entre as tecnologias de veículos pesados zero emissão de CO_2, a de ônibus elétricos é mais adequada, especialmente quando analisamos todo o ciclo de vida do combustível (DALLMAN, 2019).

No entanto, a implantação desse tipo de veículo ainda tem sido um desafio no país, porque se trata de uma tecnologia com custo inicial alto. Alem disso, a autonomia inferior em comparação à dos ônibus a combustão interna pode ser considerada uma barreira e algumas adaptações operacionais podem ser necessárias.. Algumas dessas adaptações podem ser, por exemplo, a recarga desses veículos ao longo do dia, ou mesmo, a criação de linhas exclusivas para o trajeto de ônibus (WANG *et al.*, 2020).

De forma geral, ainda são escassas as informações sobre o desempenho dos ônibus elétricos em condições reais de operação, tais como variações na declividade ou temperatura do ar, o que limita uma comparação mais efetiva com ônibus à diesel. Ademais, ainda há poucos estudos sobre o desempenho dessa tecnologia na América Latina, sendo de extrema importância para entender a viabilidade de operação desses veículos na região, incentivando um crescimento na sua adesão.

O objetivo deste trabalho é investigar o consumo energético de ônibus elétricos a bateria em operação na cidade de São Paulo e analisar como diferentes fatores, como a temperatura ambiente, podem afetar o desempenho desses veículos. Para isso, foram feitas análises estatísticas da performance de dois ônibus operando na mesma rota ao longo das quatro estações de um ano, incluindo distâncias percorridas, consumo de energia e energia regenerada pela bateria, frente a diferentes condições de temperatura do ar. Espera-se com isso contribuir para o estudo de viabilidade de renovação da frota de ônibus da cidade de São Paulo com veículos elétricos, buscando acelerar o ritmo de aquisição para alcançar as metas definidas pela Lei 16.802 (São Paulo, 2018).

2 Revisão Bibliográfica

Um dos principais impactos causados pelo homem a biosfera terrestre é a emissão antrópica de gases de efeito estufa. O relatório do IPCC (IPCC, 2022) define diferentes cenários das mudanças climáticas causadas com o estabelecimento de diferentes políticas climáticas, as "SSPs" (Figura 3).

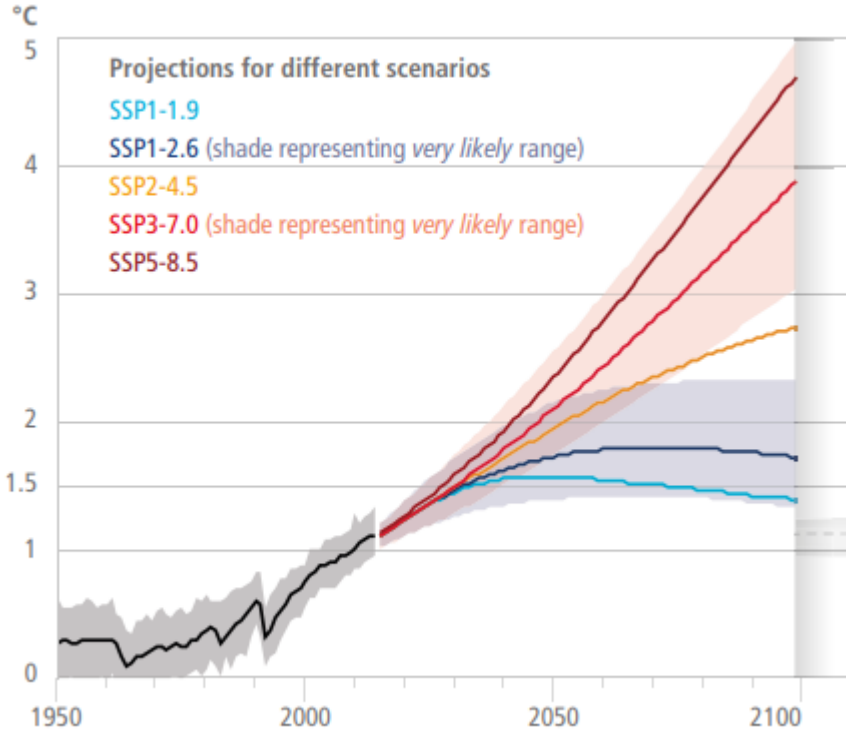


FIGURA 3 – Análise do IPCC em 2022 sobre a mudança da temperatura em relação ao período de 1850 a 1900, adotando diversos cenários de mudanças socioeconômicas (IPCC, 2022).

Nesse contexto de aumento das emissões de gases de efeito estufa, o setor de transporte tem uma grande contribuição, tendo gerado, em 2016, 7.9 bilhões de toneladas de CO_2, 21% do total global (Climate Watch, 2016). Nesse setor, 45,1% das emissões de CO2 são provenientes do transporte rodoviário de passageiros (Figura 4).

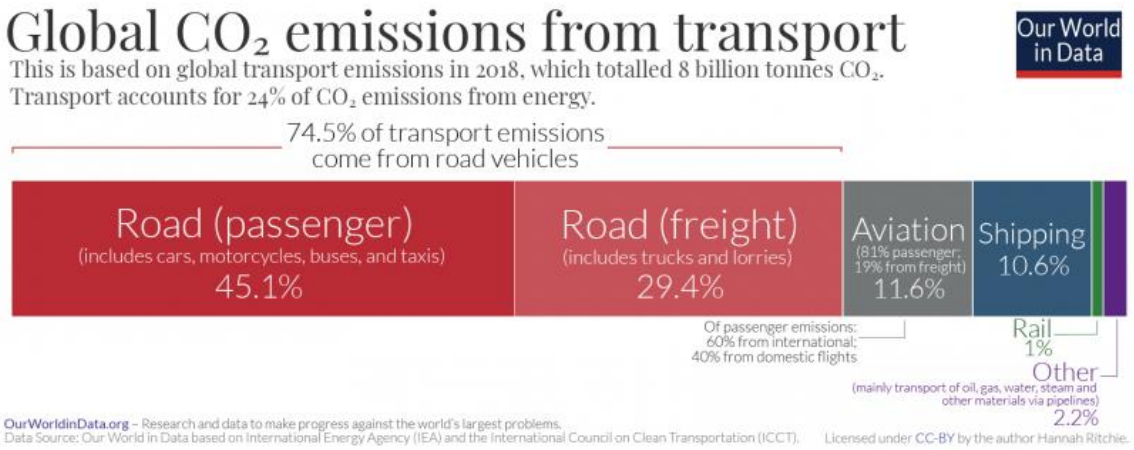


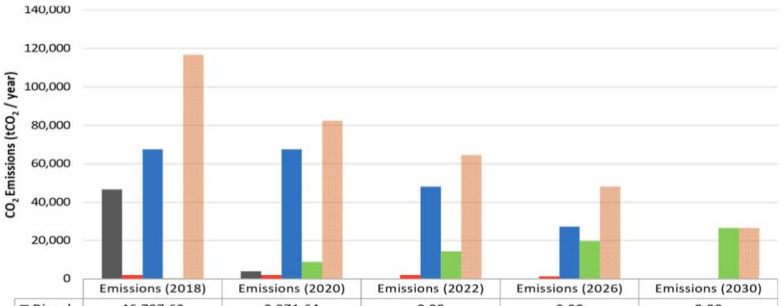
FIGURA 4 - Percentual de emissão de CO2 dentro do setor de transporte (Climate Watch, 2016).

No Brasil, como forma de mitigar impactos climáticos futuros, foram propostas medidas de intervenção, como a Lei climática de SP, Lei 16.802 (São Paulo, 2018 Em outra cidade do estado de São Paulo, São José dos Campos, há também um movimento para implementação de frota elétrica, fazendo testes com a nova tecnologia e aplicando um modelo de faixas exclusivas para integração e agilidade de serviço denominada “linha verde” (São José dos Campos, 2019).

Assim, entre as formas estudadas para alcançar esse objetivo, a eletrificação da frota de ônibus traz um dos maiores benefícios. De fato, utilizando energia elétrica renovável, o uso dessa tecnologia tem menor impacto entre as fontes de combustível (XYLIA *et al.*, 2019). Assim, o Brasil tem um grande potencial para o uso dessa tecnologia, por contar com uma participação significativa de fontes renováveis na geração de eletricidade (CORREA *et al*, 2019). Veículos à base de biodiesel de soja, por exemplo, necessitam de uma grande quantidade de terra para plantação de soja, gerando altos níveis de emissão no processo (DALLMAN, 2019).

Os ônibus elétricos tem provado apresentar uma redução significativa na emissão de carbono ao analisar todo o ciclo de vida (LIM, YUNUS, KLEMES, 2021). Em um estudo analisando a eletrificação gradual da frota de ônibus espanhola mostrou que, com sua matriz energética, seria possível reduzir emissões de CO_2 em até 92%. (GRIJALVA; MARTINEZ, 2019), trazendo um grande benefício ao planeta e à saúde humana. Por outro lado, a produção de suas baterias ainda é um problema social mal resolvido, pois há extração de insumos importantes localizadas, em grande parte, em países pobres africanos, onde liberam rejeitos com alta concentração de metais pesados no solo, criando terrenos altamente contaminados (ANAKE, ADIE, OSIBANJO, 2009). Portanto, é importante que essa tecnologia seja fabricada de forma sustentável, tendo bastante cuidado com a produção e futuro descarte de suas baterias,

visto que os ônibus elétricos representam um caminho na direção certa de um futuro menos agressivo ao planeta.



	Emissions (2018)	Emissions (2020)	Emissions (2022)	Emissions (2026)	Emissions (2030)
Diesel	46,707.62	3,971.64	0.00	0.00	0.00
Hybrid	2,031.55	2,031.55	2,031.55	1,267.55	0.00
NGC	67,570.38	67,570.38	48,186.15	27,320.12	0.00
Electric	469.88	8,858.32	14,355.40	19,638.89	26,697.78
Total	116,779.43	82,431.90	64,573.11	48,226.56	26,697.78

Figure 18. Comparison of the estimated CO_2 emissions for different bus fleet phases substitution with the current Spanish electricity mix.

FIGURA 5 – Comparação entre as emissões estimadas de CO2 para diferentes fases de substituição da frota de ônibus na espanha (GRIJALVA; MARTINEZ, 2019)

Ainda assim, a implementação dos ônibus elétricos têm sido um desafio. Uma das razões é por ter uma autonomia inferior quando comparados com veículos de combustão interna devido à capacidade limitada da bateria (ROGGE *et al.*, 2018). Dessa maneira, a análise do consumo energético de veículos pesados elétricos e das principais variáveis da operação se torna essencial para a adoção dessa tecnologia em maior escala.

Pode-se observar que dentre as principais variáveis de impacto no consumo energético estudadas na academia, estão o peso do veículo, a velocidade de operação, a declividade, o estilo de condução (SILVA *et al.*, 2015) e o clima (WANG *et al.*, 2020) . Sobre a velocidade, por exemplo, a adoção de velocidades médias altas traz um impacto positivo na eficiência energética (SILVA *et al.*, 2015*;* WANG *et al.*, 2020), pois está associada a menos quantidade de eventos de parada que aumentam o consumo por demandar maior aceleração posterior (SILVA *et al.*, 2015).

A análise do estilo de condução mostrou que o comportamento mais agressivo no trânsito, com manobras instáveis e maiores taxas de aceleração ou frenagem, causam um maior consumo energético (LAJUNEN *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2020). Isso se relaciona com a frenagem regenerativa, que é bastante impactada pelo comportamento e adaptação do motorista com a tecnologia, pois frenagens bruscas reduzem bastante a capacidade de regeneração de energia (PERROTA *et al*., 2013), afetando negativamente o seu consumo energético (MANE,

DJORDJEVIC, GHOSH, 2021). Assim, obteve-se após sessões de treino com melhores práticas de direção uma alta redução do consumo energético (SILVA *et al.*, 2015).

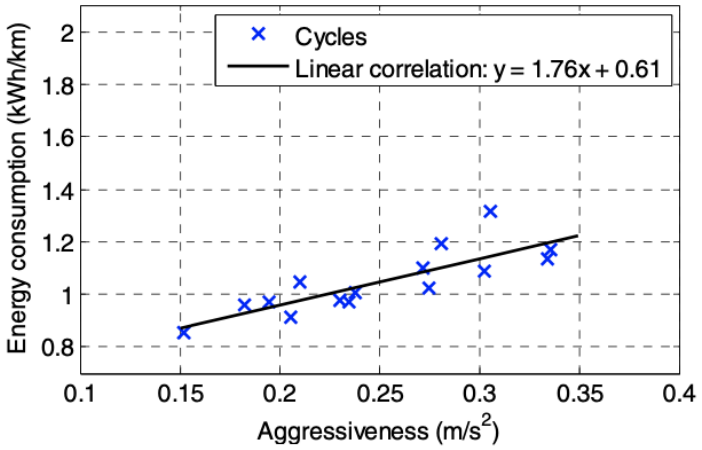


FIGURA 6 - Influência da condução agressiva no consumo energético (LAJUNEN et al., 2018).

Quanto a relação das estações climáticas com o consumo energético, relata-se que estações mais frias, em regiões de clima semelhantes ao sudeste brasileiro, resultam em um menor consumo energético (WANG *et al.*, 2020). Além disso, médias de temperatura superiores a 21ºC levam a uma menor eficiência da bateria dos ônibus elétricos (AL-WREIKAT; SERRANO; SODRE, 2022; CHIKISHEV, 2021). Uma das razões para essa variação é o consumo energético de aparelhos auxiliares dos veículos, como ar-condicionado, no caso do Brasil, ou aquecedores, utilizados em temperaturas frias extremas (WANG *et al.*, 2020; AL-WREIKAT; SERRANO; SODRE, 2022; Chikishev, 2021, VEHVILAINEN *et al.*, 2022).

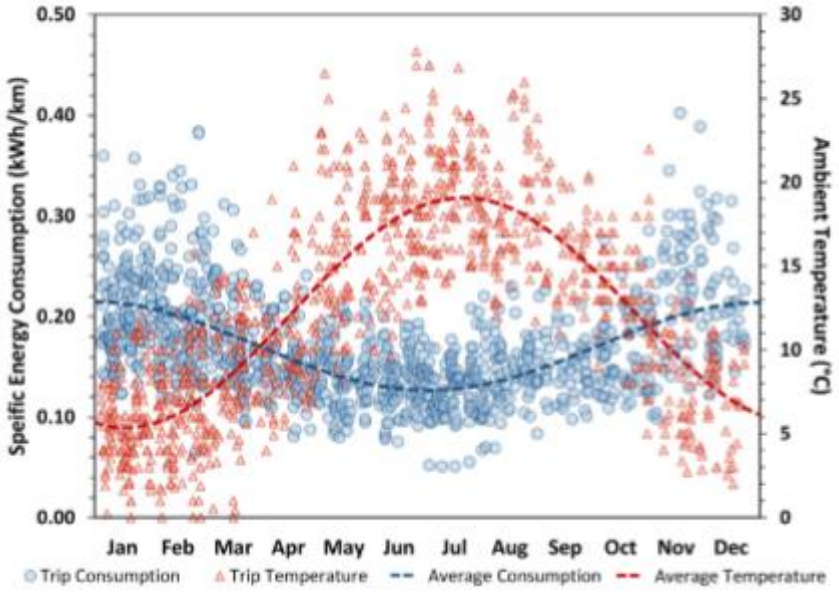


FIGURA 7 - Consumo energético e Temperatura Ambiente em função do mês analisado (AL-WREIKAT; SERRANO; SODRE, 2022).

Notou-se também variação do consumo ao longo do dia, com uma eficiência energética maior à noite e aos fins de semana, devido em grande parte ao menor tráfego (WANG *et al.*, 2020), embora as temperaturas também costumem inferiores no período noturno.

Em relação ao método de análise utilizado, foram feitos estudos com modelagem de regressões ou simulações, a fim de tentar estimar com maior precisão o consumo energético como resultado das variáveis de interesse, em diferentes níves e situações (LAJUNEN, 2014; SILVA *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2017; FIORI et al, 2021). Análises de dados reais de operação também são realizadas, trazendo informações do consumo e condições de operação, embora sejam limitadas a um modelo de ônibus e linha específica (WANG *et al.*, 2020; CHIKISHEV, 2021). Um fator importante é que a maior parte desses estudos foram realizados no continente europeu ou asiático.

Portanto, esse estudo fará uso de dados reais de operação, contando com um dispositivo acoplado aos ônibus com um potencial de obtenção de dados muito precisos, e com baixa frequência de coleta. Além disso, por se tratar de um projeto piloto da cidade de São Paulo, trará resultados importantes para a adoção da tecnologia na região, além de analisar o consumo energético em um continente pouco explorado em estudos semelhantes, com um clima e uma cultura bem distintas da Europa e Ásia, foco de grande parte do material científico.

3 Materiais e Métodos

3.1 Área de Estudo

A área de estudo analisada é todo o trecho de operação de dois ônibus elétricos monitorados, composta pela rota 6030-10 da cidade de São Paulo (FIGURA 8. Faz parte da operação trechos que interligam os terminais da rota até a garagem dos ônibus e locais de manutenção dos veículos.

A rota 6030-10 faz parte da zona sul da capital paulista, e interliga o terminal Santo Amaro e a Unisa-Campus 1, com tempo médio de trajeto de 65 minutos e distância percorrida média de aproximadamente 15 km (SPTrans, 2022). A rota possui um total de 65 paradas de ônibus.

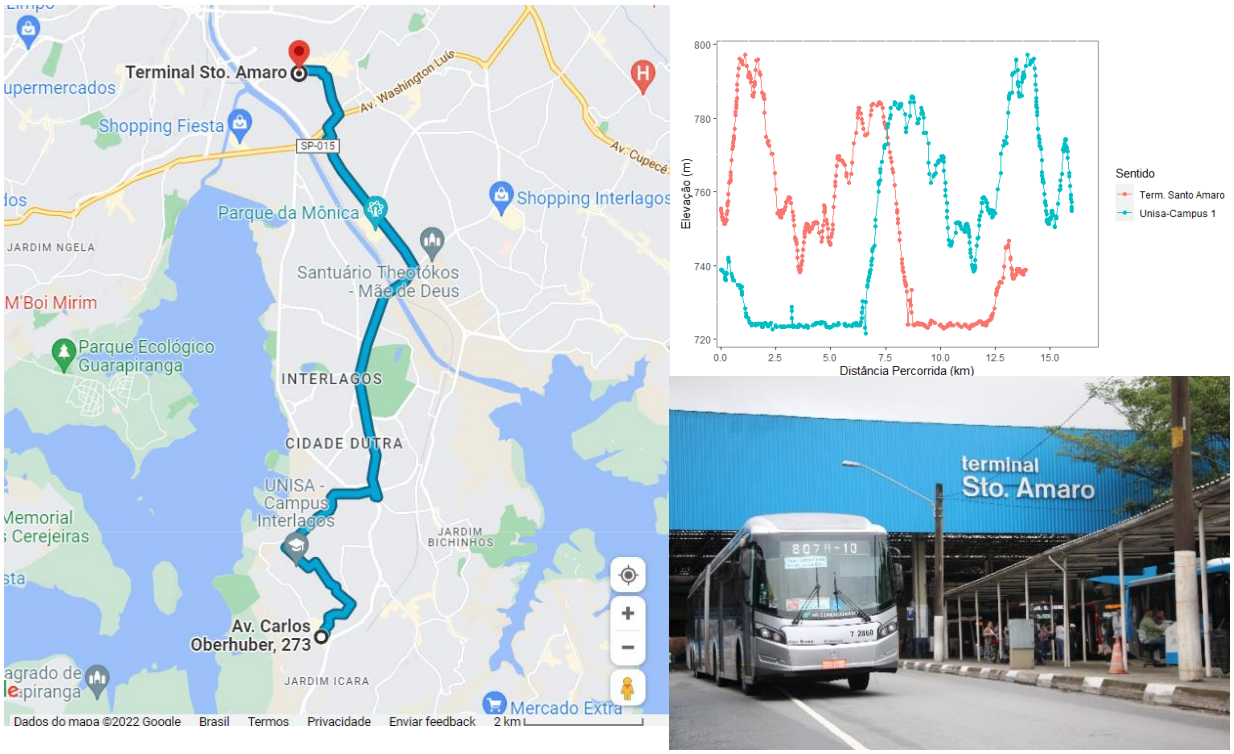


FIGURA 8 – Painel contendo, a Rota de ônibus 6030-10 da cidade de São Paulo, interligando o Terminal Santo Amaro com a Av. Carlos Oberhuber, 273, próximo à Unisa-Campus 1. Na parte superior direita, o perfil de elevação ao longo de cada sentido da rota. No quadro inferior direito, o terminal Santo Amaro. (SPTran, 2020)

3.2 Dados

Nesse estudo, foram utilizados dados reais, cedidos pelo ICCT Brasil (International Council on Clean Transportation), e extraídos da operação de dois ônibus elétricos à bateria entre o período de 20 de Janeiro de 2021 a 30 de Dezembro de 2021 (Tabela 1). Os 18 veículos pesados elétricos em operação em São Paulo foram fabricados pela BYD, em sua sede em Campinas (SP), em parceria com as encarroçadoras Caio, com 12 entre os 18, cujo peso equivale a 14750 kg, e Marcopolo, com os 6 restantes, com peso 14937kg, além disso, os veículos possuem bateria de capacidade 324 kWh. Nessa análise, foi monitorado um ônibus com cada carroceria, que apresentam algumas distinções, como o peso (Tabela 1). Eles pertencem à operadora Transwolff e trafegam na rota 6030-10 na cidade de São Paulo.

Em cada veículo, utilizou-se o dispositivo GO9 da Geotab, que é conectado diretamente em sua saída CAN, sendo capaz de extrair dados GPS, informações da bateria, do odômetro

(etc). Esses dados foram coletados pela Geotab e trabalhados pelo ICCT em duas diferentes agregações: por dia e por viagem. Entre as variáveis disponíveis estão: distância (km), consumo energético (kWh), potência da bateria (kW), velocidade (km/h), energia regenerada (kWh), latitude, longitude, data, etc.

Os dados de temperatura externa do ar foram obtidos através do site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), para a cidade de São Paulo e agregados, de acordo com a data, à base de dados de monitoramento dos veículos.

Inicialmente, foi feita uma análise geral entre os dados obtidos. Dessa forma, realizou-se uma distribuição das variáveis de distância percorrida e consumo energético nas duas agregações disponíveis. Em seguida, produziu-se uma análise estatística a fim de obter as correlações entre as variáveis.

3.3 Análise de dados agregados por viagem

Uma vez feita essa primeira análise geral dos dados, utilizou-se a agregação por viagem para ter mais detalhe da operação em si. Para essa análise, no entanto, foram utilizados dados dos mesmos ônibus do período entre 20 de janeiro e 28 de outubro de 2021 (Tabela 1).

TABELA 1 - Resumo dos dados dos ônibus monitorados agregados por viagem. Excluiu-se as viagens com menos de 1 km operados por ônibus e representados os valores médios para a duração, distância, consumo energético e energia regenerada.

id	Viagens analisadas	Duração da viagem (min)	Distância (km)	Consumo de Energia (kWh/km)	Energia Regenerada (%)
Ônibus 1	3006	52.5	14.17	1.241	42.16
Ônibus 2	2785	49.2	13.34	1.302	41.41

A separação entre os dados de viagem ocorre ao desligar e ligar a ignição do veículo. Dessa forma, para garantir que se considera apenas dados dos ônibus em serviço, removeu-se dados de viagens com distâncias percorridas inferiores a 1km.

Com o intuito de diminuir a variabilidade da temperatura ao longo do dia, utilizou-se da temperatura medida pelo INMET (INMET, 2021) na mesma hora de início da viagem, que possui média de 50 minutos de duração (Tabela 1).

Nas análises realizadas, foram utilizadas as variáveis de distância, temperatura horária, consumo energético por quilômetro, energia regenerada, velocidade, data, hora, precipitação e energia consumida pela bateria. As análises dos dados foram realizados com o *software R* e para a produção dos gráficos, foram utilizadas, com maior destaque, as bibliotecas *dplyr* e *ggplot2*. Para análises de correlação, utilizou-se o método de correlação de Pearson.

O cálculo da autonomia foi realizado multiplicando-se o valor de 80% da capacidade total da bateria (324 kWh), pois adotou-se uma reserva técnica da bateria de 20%, pelo coeficiente angular obtido da relação distância x consumo energético para cada observação de viagem.

3.4 Análise de dados agregados por dia

Trabalhou-se com a base de dados agregada por dia (Tabela 2) para obter uma visão geral do objeto de estudo. Foi feita uma análise exploratória dos dados obtidos dos ônibus elétricos, de modo a visualizar as variáveis do estudo, produzindo tabelas, gráficos de dispersão e histogramas.

TABELA 2 – Resumo dos dados dos ônibus monitorados agregados por dia. Excluiu-se os dias com menos de 50 km operados por ônibus (9,3% dos dias) e representados os valores médios para a distância, consumo energético e energia regenerada.

id	Dias	Distância (km)	Consumo de Energia (kWh/km)	Energia Regenerada (%)
Ônibus 1	325	173,53	1.224	40.47
Ônibus 2	292	161.71	1.320	38.19

Para fazer a união dos dados do monitoramento dos ônibus elétricos com os dados de temperatura, foi utilizada a função *merge,* igualando-se as datas. Com isso, decidiu-se filtrar a base de dados para distâncias superiores à 50 km, a fim de evitar dias com operação irregular, diminuindo a variação dos resultados. Nas análises realizadas, foram utilizadas as variáveis de distância, temperatura média, consumo energético por quilômetro, energia regenerada, precipitação e data.

As análises dos dados foram realizados com o *software R* e para a produção dos gráficos, foram utilizadas, com maior destaque, as bibliotecas *dplyr* e *ggplot2*. Para análises de correlação, utilizou-se o método de correlação de Pearson.

4 Resultados

4.1 Análise geral dos dados

Observou-se uma predominância de distâncias percorridas inferiores a 1km, que foram filtradas, ou em torno de 15 km (Figura 9). Obteve-se uma maior concentração de viagens no período entre 6h e 21h, com baixa frequência nos demais horários (Figura 10).

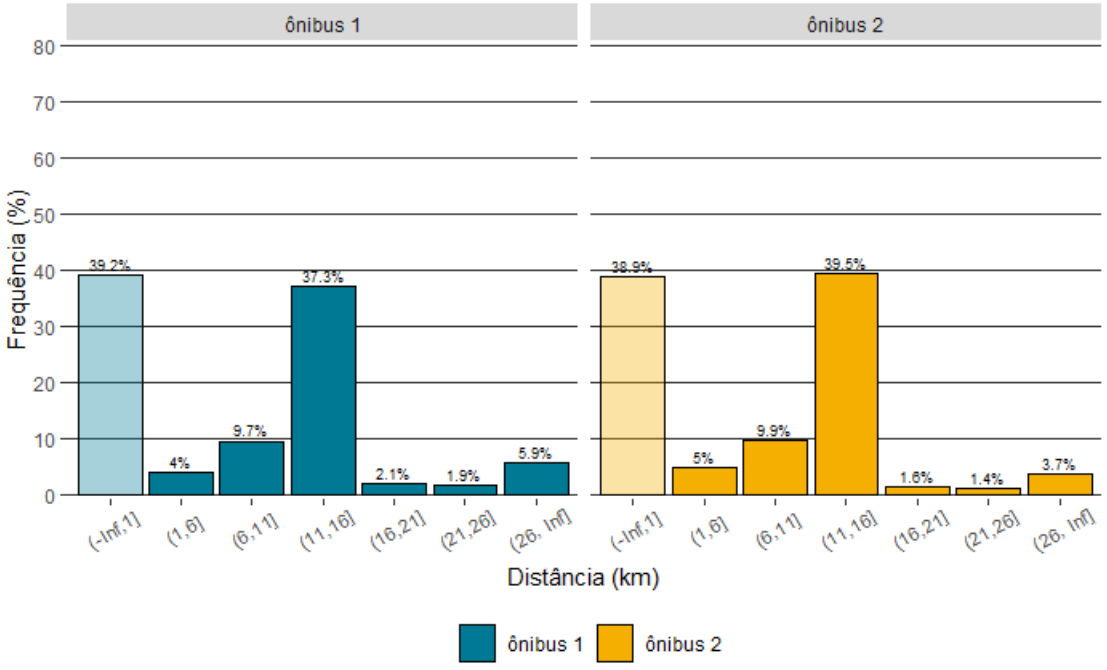


FIGURA 9 - Histograma da Distância Percorrida nas viagens. Em uma coloração mais clara, estão os dados excluídos, com distância inferior a 1 km.

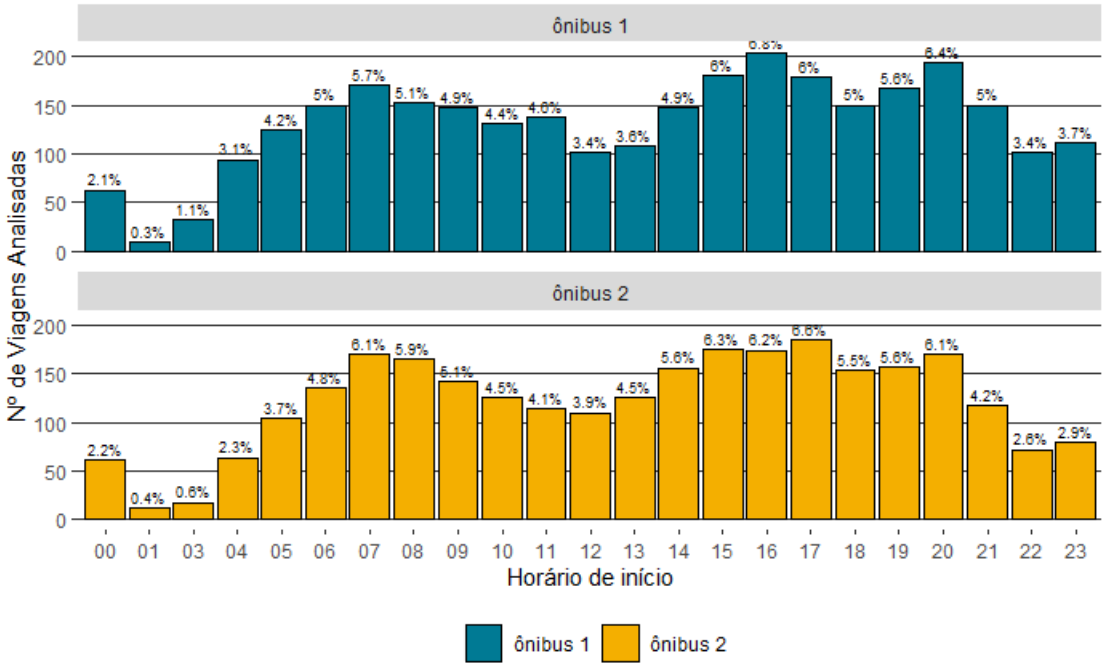


FIGURA 10 - Distribuição do Horário de início das viagens

Analisando os dados agregados ao dia, observou-se uma grande variabilidade da distância diária percorrida (Figura 11), e que o maior número de observações correspondeu a percursos diários inferiores a 200 km (76,2% para o ônibus 1 e 83,4% para o ônibus 2).

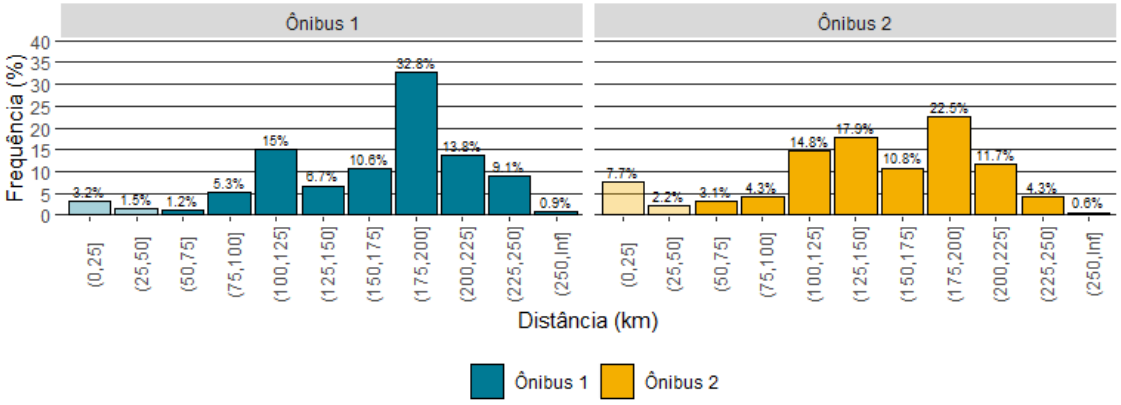


FIGURA 11 – Histograma da Distância Percorrida diária. Em uma coloração mais clara, estão os dados excluídos, com distância menor que 50 km.

Com relação ao consumo de energia diário, observa-se uma concentração no intervalo de 1 a 1.4 kWh/km (Figura 12), mas havendo uma parcela considerável com um consumo mais elevado (1,8% para o ônibus 1, e 16,1% para o ônibus 2).

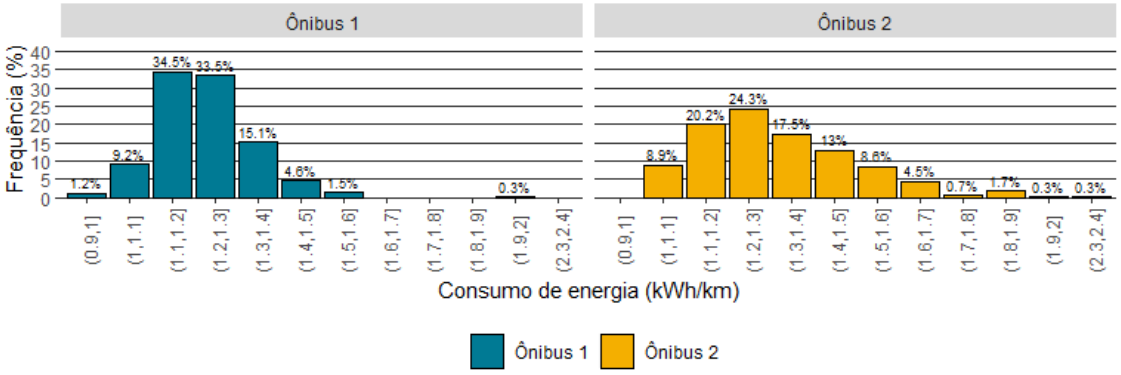


FIGURA 12 - Histograma do Consumo

Destacou-se a corelação negativa forte entre percentual de energia regenerada e consumo, e as relações negativas mais fracas da distância percorrida e da velocidade com consumo energético (Fig.13). Notou-se, também uma correlação positiva entre a temperatura e o consumo energético e entre a distância e a energia regenerativa.

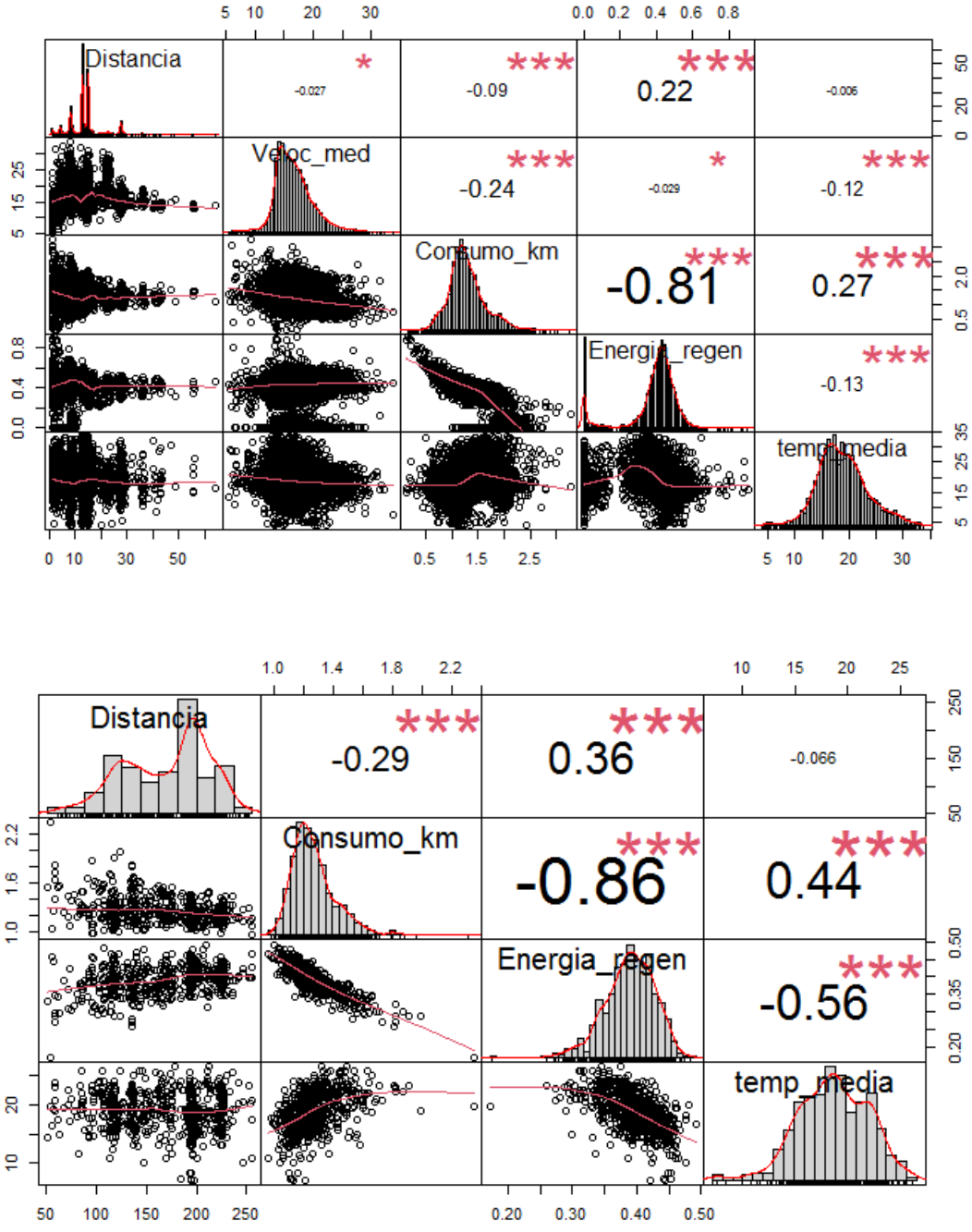


FIGURA 13 – Painel contendo Gráficos de Correlação entre as variáveis das bases de dados agregadas por viagem e por dia, respectivamente.

4.2 Análise dos dados agregados por viagem

Na análise do consumo energético observou-se que a operação com velocidades médias mais altas tem uma baixa tendência a estarem associadas a dias com menor consumo (Figura 14). Além disso, observou-se também que o consumo de energia tende a ser maior em dias com maiores temperaturas (Figura 15). Notou-se, também, uma variação da eficiência energética ao longo do horário de operação, com maior consumo e variação na madrugada, seguida pelo período da tarde, e menor consumo no início da noite (Figura 16).

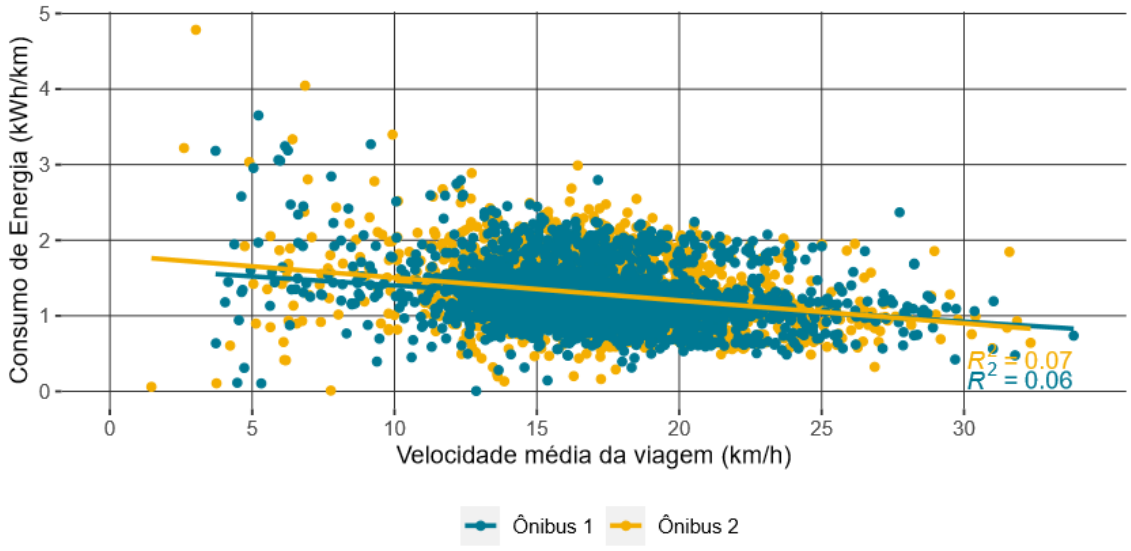


FIGURA 14 – Relação entre o consumo energético e a velocidade média da viagem, com a tendência linear.

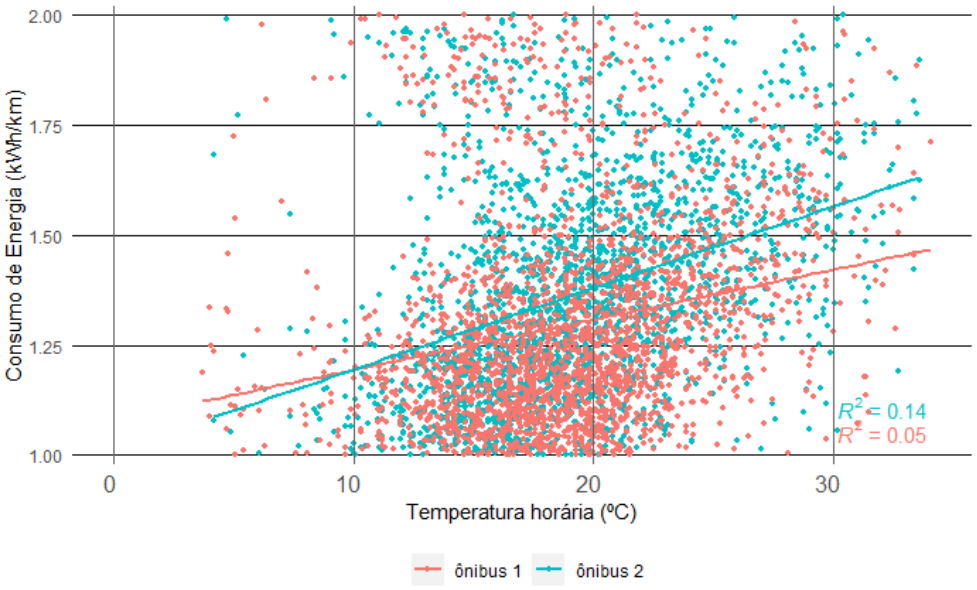


FIGURA 15 - Relação entre o consumo energético e a temperatura da hora de início da viagem, com a tendência linear.

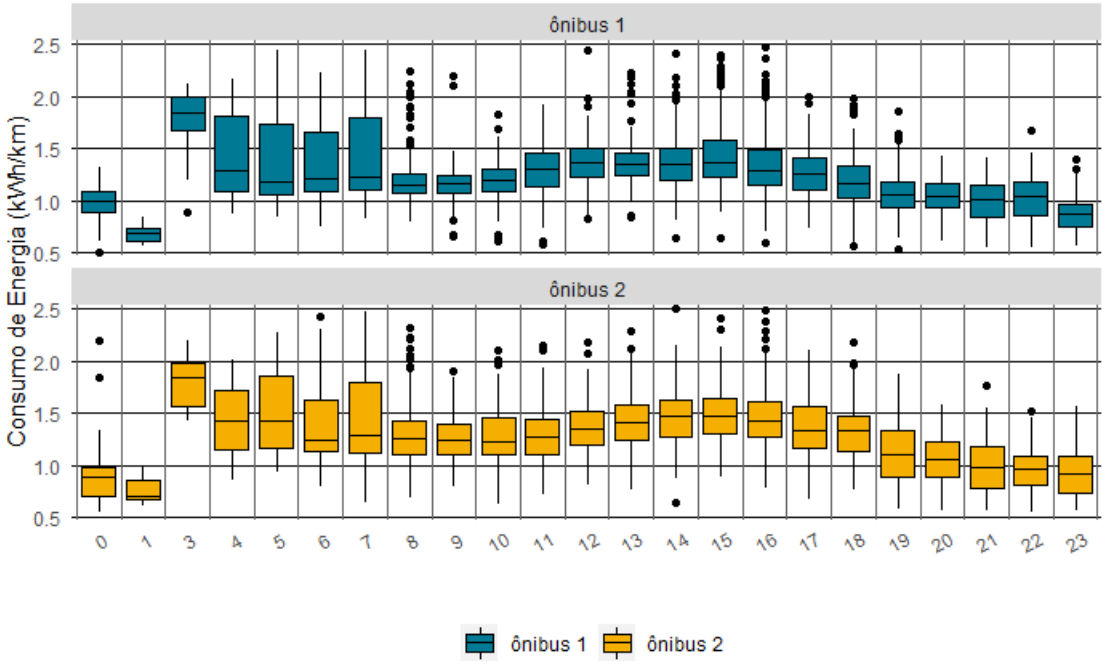


FIGURA 16 – Boxplot do consumo energético e o horário de operação.

Além disso, estimou-se também a autonomia do veículo com base no consumo de energia por viagem. As autonomias estimadas foram levemente superiores entre os meses de

Abril e Julho (Figura 17). Nessa análise, foi considerada uma reserva técnica de 20% da capacidade da bateria, para sua conservação.

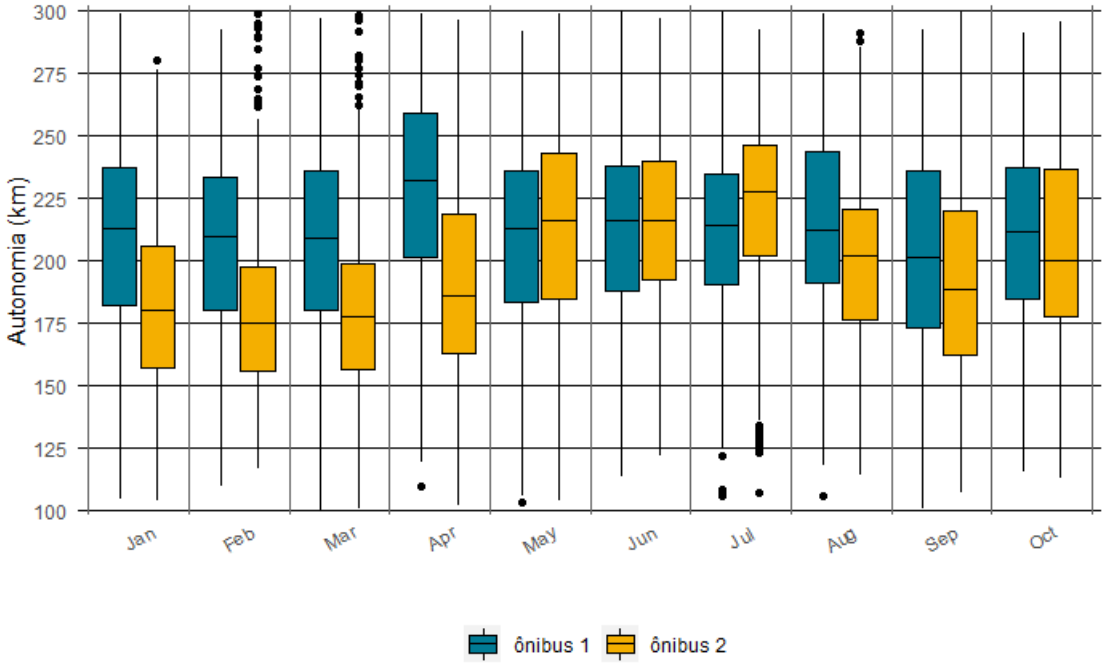


FIGURA 17 - Boxplot da variação da Autonomia ao longo dos meses analisados

4.3 Análise de dados agregados por dia

Comparando os dados de distância e consumo energético (Figura 18), observou-se uma relação próxima à linear entre essas variáveis, mas com maiores discrepâncias para dias com distância percorrida abaixo de 50 km.

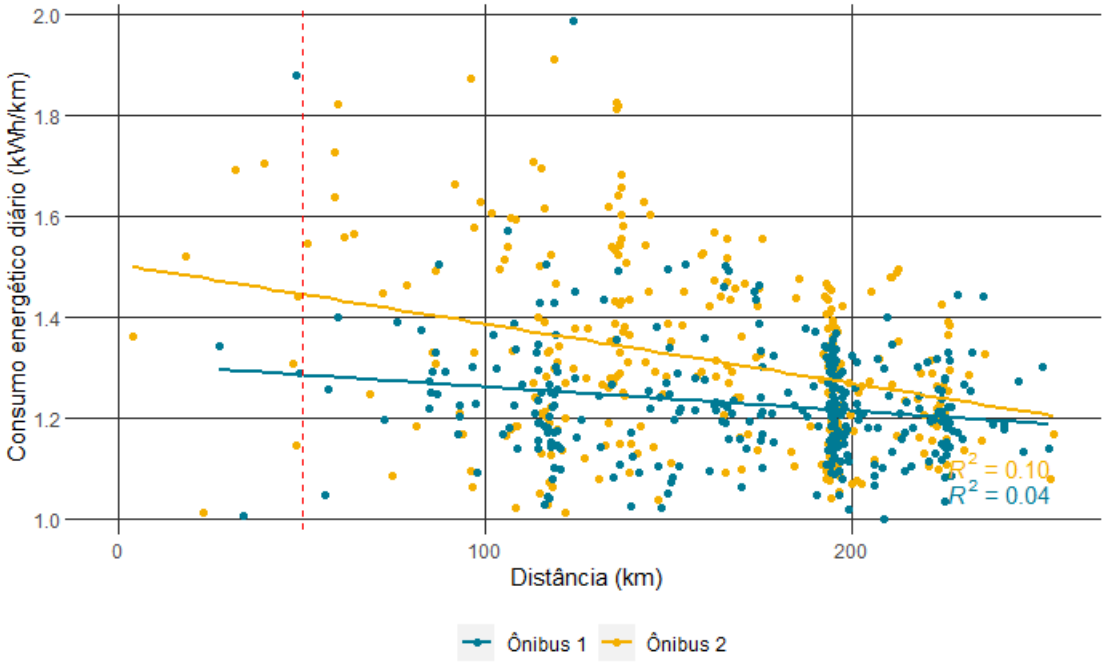


FIGURA 18 - Gráfico de dispersão do consumo energético e distância percorrida. A linha vermelha tracejada representa a divisão entre os dados excluídos e aqueles utilizados para análise.

Quanto à temperatura, mostrou-se que há uma tendência de aumento do consumo com a temperatura média (Figura 20). Além disso, a análise da eficiência energética ao longo do tempo mostra que os ônibus elétricos tem um melhor desempenho de consumo de energia em meses mais frios, entre maio e agosto, em especial o ônibus 2 (Figura 19).

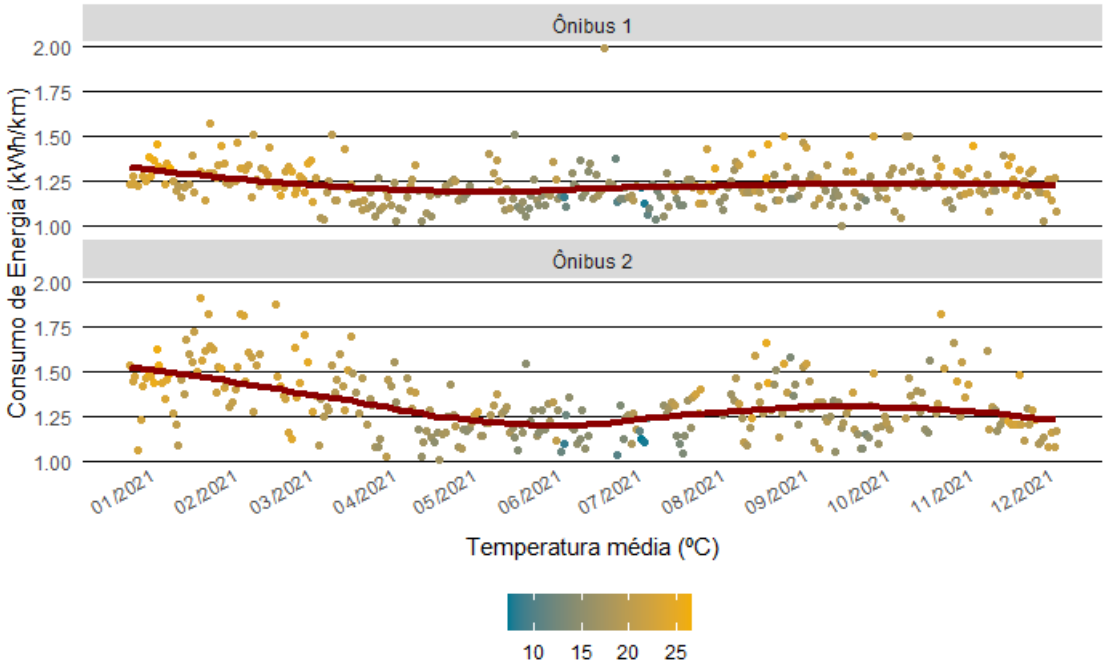


FIGURA 19 - Gráfico de Dispersão do consumo energético ao longo do tempo, onde os círculos amarelados representam dias com maior média de temperatura, enquanto os azuis dias de menor temperatura. Em vermelho temos a tendência com a linha LOESS.

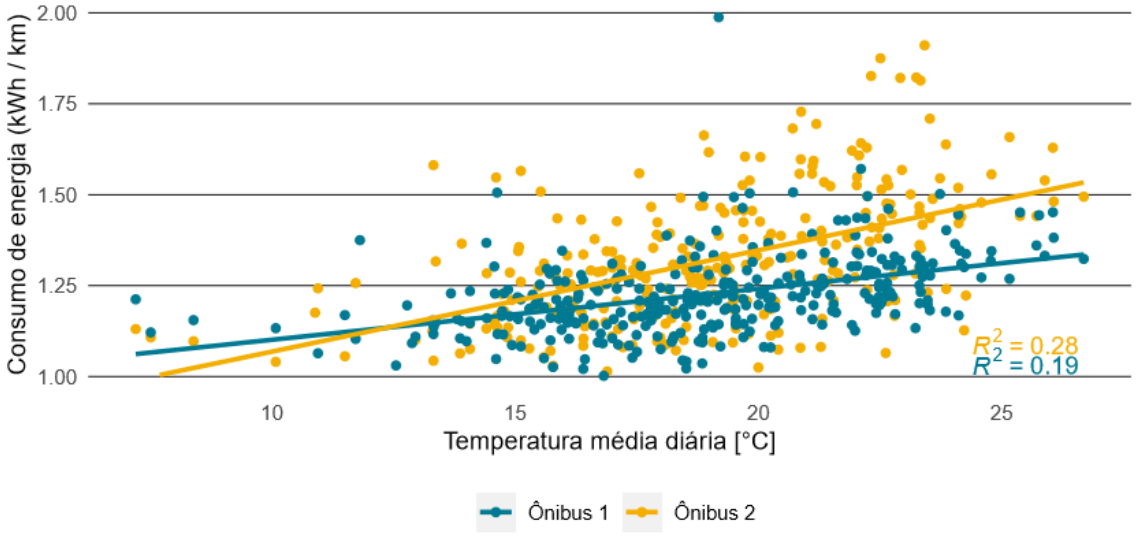


FIGURA 20 – Relação entre o consumo energético e a temperatura média diária, com a tendência linear.

Observou-se uma relação negetiva proxima da linear entre o consumo energético e a energia regenerativa (Figura 10).

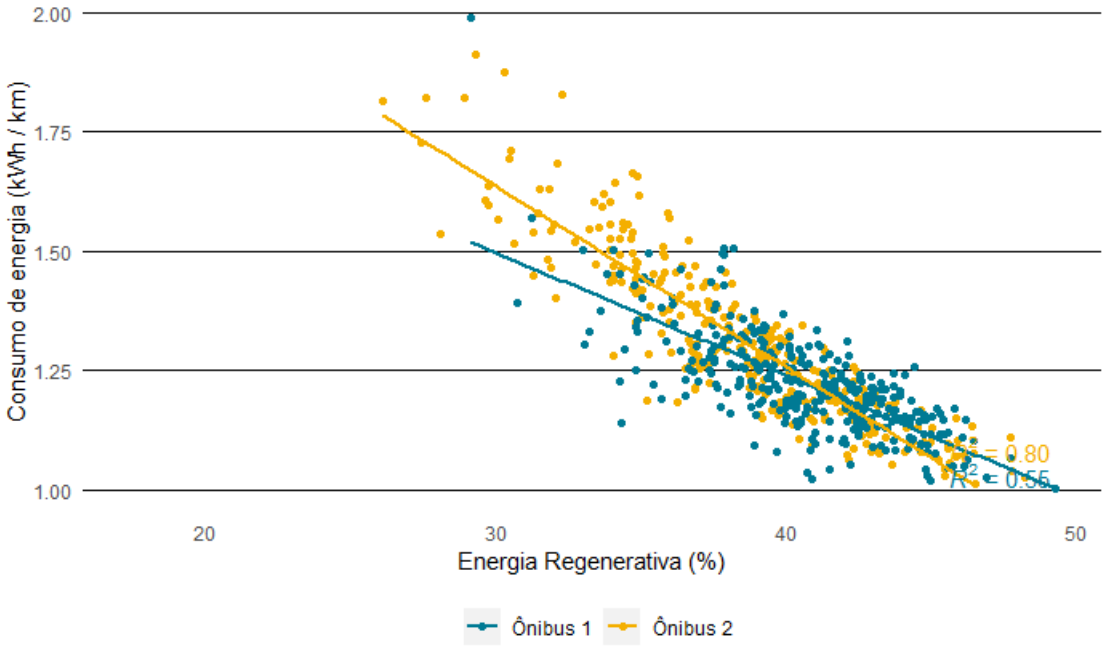


FIGURA 21 – Relação entre o consumo energético e a média diária do percentual de energia regenerada, com a tendência linear.

Analisando a frenagem regenerativa, observou-se que há um crescimento do percentual de energia regenerada ao longo do tempo, especialmente entre Janeiro e Abril, com medias superiores a 40% e 35% para a maioria dos dias analisados (Figura 22).

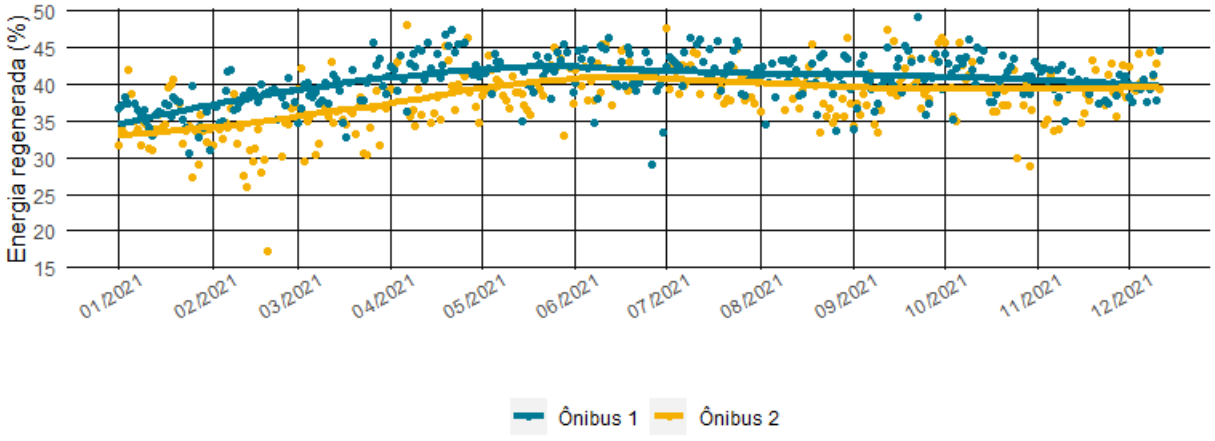


FIGURA 22 – Variação da média diária do percentual de energia regenerada ao longo dos meses analisados.

5 Discussão

O caso analisado mostra que, mesmo para os ônibus elétricos que operam uma rota, há uma variação significativa do consumo de energia ao longo das viagens e dos dias, havendo diversos fatores influenciando esse consumo (Figura 12). Aqui analisou-se de forma individual a correlação de cada variável operacional no consumo desses veículos, a fim de entender melhor o comportamento delas (Figura 13). No entanto, não foi possível isolá-las completamente, o que não torna a análise de causa e efeito.

A temperatura foi uma variável relevante para o consumo energético dos ônibus analisados, havendo uma forte correlação positiva (Figura 13). Por não apresentar dados com temperatura média inferior a 0ºC, não foi possível entender a relação dessa variável em toda sua extensão, mas quanto a altas temperaturas, obteve-se uma tendência de aumento do consumo energético (Figura 20) similar ao esperado (CHIKISHEV, 2021).

Nesse sentido, mostrou-se, ainda, que a variação das estações climáticas, e consequentemente da temperatura, ao longo do ano resultou em uma maior eficiência e autonomia dos veículos em meses mais frios (Figuras 17 e 19), semelhante ao que indica a literatura (WANG et al, 2020; AL-WREIKAT, 2021). Dessa maneira, notou-se-se que os aparelhos auxiliares, principalmente o ar-condicionado, tem grande parcela no consumo dos ônibus, pois tendem a ter potência superior com temperaturas externas altas, trazendo diferenças entre 0.1 kWh a 0.2 kWh (Figura 19), semelhantes àquela obtida na academia (AL-WREIKAT, 2021).

Ademais, considerando a variabilidade da temperatura e da operação ao longo do mesmo dia, obteve-se um maior consumo energético durante a tarde, e o menor durante a noite (Figura 16). Esse resultado se reflete na literatura (WANG *et al*., 2020), pois há uma menor taxa de operação dos ônibus, além de uma a temperatura inferior durante a noite, resultando em menores consumos energéticos. Devido a menor quantidade de observações durante a madrugada, entre 0h e 5h (Figura 10), por haver menor número de viagens nesse período, não podem ser feitas correlações adequadas para esse período.

Quanto a energia regenerativa, destacam-se as relações positivas com a distância e velocidade e a relação negativa com o consumo energético (Figuras 13 e 21). Além disso, na figura 22, observa-se um crescimento dessa variável ao longo do ano. Como a frenagem regenerativa está associada com o estilo de condução do motorista, o aumento do percentual de

energia regenerada pode ser consequência da adaptação do motorista à tecnologia e de seu aprendizado com o sistema, como apresentado em outros estudos (PERROTA *et al*., 2013; MANE, DJORDJEVIC, GHOSH, 2021). A variação obtida no consumo energético diário, com as taxas de frenagem regenerativa oscilou entre 0.25 a 0.50 kWh, mais intenso que obtido na literatura (LAJUNEN *et al.*, 2018). Essa mudança pode ter relação ao fato da relação com a frenagem regenerativa não ter sido isolada, podendo ter influência da temperatura, e na literatura a relação obtida é entre consumo energético e agressividade, a partir da aceleração, que se relaciona com a frenagem regenerativa. Portanto, treinamentos de motoristas, além de trazer uma condução mais segura para a operação, podem melhorar o uso da frenagem regenerativa, reduzindo o consumo de energia (Figura 22; SILVA *et al.*, 2015).

Observou-se, em menor intensidade, uma correlação negativa entre as variáveis de distância e velocidade com o consumo energético (Figuras 13, 14 e 18). Isso sugere que através de uma menor quantidade de tempos ociosos e eventos de parada, aceleração e desaceleração, aumentando a velocidade média de operação, sem necessariamente varia a velocidade de cruzeira, obtêm-se uma melhor eficiência energética, como sugere a literatura (SILVA *et al.*, 2015, WANG *et al*., 2020, FIORI *et al*., 2021) Dessa maneira, políticas públicas para planejamento das rotas dos ônibus e criação de linhas exclusivas para tráfego desses veículos podem afetar positivamente em sua performance.

Quanto à autonomia, observou-se um aumento nos meses mais frios, entre Abril e Agosto (Figura 16), assim como esperado, visto que há uma maior adaptação com a tecnologia, e tende-se a ter menor consumo de aparelhos auxiliares em menores temperaturas. No entanto, mostrou-se que a autonomia ainda possui valores médios em torno de 200 km (considerando uma reserva técnica de 20% para conservação da bateria). É importante explorar medidas que otimizem e maximizem o uso do ônibus elétrico, como técnicas de condução econômica, alternativas de estratégias de recarga, políticas de planejamento de rota e a própria tecnologia dos veículos elétricos para melhorar a eficiência e possibilitar a aplicação em operações com maiores demandas.

Ademais, observa-se um grande variação entre a autonomia dos dois ônibus, especialmente entre os meses de Janeiro e Abril (Figura 16). Destaca-se que existe uma diferença de peso entre os veículos, assim como variações operacionais, como peso transportado, sendo possível que o ônibus 2 tenha sofrido manutenção durante esse período ou possua um aparelho ar-condicionado menos eficiente para altas temperatura

6 Conclusão

Embora as relações entre as variáveis não tenham sido feitas de forma isolada, obteve-se uma forte relação positiva entre a temperatura e o consumo energético, causadas, em grande parte, pelo aumento da potência dos ar-condicionados em temperaturas mais altas. Os veículos apresentaram consumo energético inferiores com temperaturas menores, o que pôde ser observado na variação da operação ao longo do dia, à noite, e ao variar os meses do ano, no inverno. Dessa maneira, a expectativa de aumento de temperatura global, trará impacto na própria eficiência desses veículos elétricos, sendo necessária uma corrida tecnológica para aumentar a eficiência desses veículos e de sua rápida implementação.

Mostrou-se, também uma relação forte negativa entre a energia regenerativa e o consumo energético dos ônibus elétricos, além de um crescimento do percentual de energia regenerada com o tempo sugerir que a adaptação e o treinamento com a nova tecnologia podem ter grande impacto. Assim, obteve-se que a autonomia dos veículos cresceu ao longo do tempo, especialmente nos meses mais frios, mas com médias próximas a 200 km. Outras relações menores foram obtidas entre a distância percorrida, velocidade e o consumo energético.

Como maneira de aperfeiçoar o trabalho, análises com uma maior amostra de ônibus elétricos analisados, incluindo variáveis como peso transportado e consumo de energia de aparelhos auxiliares traria mais possibilidades de análises e maior generalização dos resultados obtidos. Além disso, outros modelos de análise, como o uso de técnicas de modelagem de aprendizado de máquina poderiam obter estimativas de consumo energético em função das variáveis de forma isolada.

Referências

AL-WREIKAT, Y.; SERRANO, C.; SODRE, J. R. Effects of ambient temperature and trip characteristics on the energy consumption of an electric vehicle. **Energy**, 238, Jan 2022.

Anake, W.U., Adie, G.U. and Osibanjo, O. (2009) Heavy Metals Pollution at Municipal Solid Waste Dumpsites in Kano and Kaduna States in Nigeria. Bulletin Chemical Society of Ethiopia, 23, 281-289. https://doi.org/10.4314/bcse.v23i2.44972.

Chikishev, E. Impact of natural and climatic conditions on electric energy consumption by an electric city bus. **Transportation Research Procedia**, 57, p 113–121, Set 2021

Climate Watch. 2016. Washington, DC: World Resources Institute. Available online at: https://www.climatewatchdata.org.

DALLMAN, T. (2019). Benefícios de Tecnologias de Ônibus em Termos de Emissões de

Poluentes do Ar e do Clima em São Paulo. Recuperado do International Council on

Clean Transportation, https://theicct.org/publications/beneficios-de-tecnologiasde-onibus-em-termos-de-emissoes-de-poluentes-do-ar-e-do-clima

GRIJALVA, E. R.; MARTINEZ, J. M. L. Analysis of the Reduction of CO2 Emissions in Urban Environments by Replacing Conventional City Buses by Electric Bus Fleets: Spain Case Study. **Energies**, 12, n. 3, Feb 2019.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

LAJUNEN, A. Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses. **Transportation Research Part C,** 38, p 1- 15, 2014.

LAJUNEN, A.; KIVEKAS, K.; BALDI, F.; VEPSALAINEN, J., 2018, Chicago, IL. **Different approaches to improve energy consumption of battery electric buses**. 2018. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000459870300066.

Nakai S, Nitta H, Maeda K. Respiratory health associated with exposure to automobile exhaust. II. Personal NO2 exposure levels according to distance from the roadside. J **Expo Anal Environ Epidemiol**. 1995 Apr-Jun;5(2):125-36. PMID: 7492902.

Perrotta, D., Macedo, J.L., Rossetti, R.J.F., Afonso, J.L., Kokkinogenis, Z., Ribeiro, B. (2014). Driver Attitude and Its Influence on the Energy Waste of Electric Buses. In: Behrisch, M., Krajzewicz, D., Weber, M. (eds) **Simulation of Urban Mobility**. SUMO 2013. Lecture Notes in Computer Science(), vol 8594. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45079-6_8

ROGGE, M.; HURK, E.; LARSEN, A.; SAUER, D. Electric bus fleet size and mix problem with optimization of charging infrastructure. **Applied Energy**, Volume 211, p. 282-295, 2018.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (SP). Lei Complementar n° 620, de 11 de julho de 2019. Jornal Boletim do Município, São Paulo, ano L, n. 2550, p.4. 12 jul 2019. Disponível em: https://www.sjc.sp.gov.br/media/106691/lei-linha-verde.pdf. Acesso em: 16 de novembro de 2022.

SÃO PAULO (SP). Lei n° 16.802, de 17 de janeiro de 2018. Diário Oficial da Cidade de São Paulo, São Paulo, ano 63, n. 12, p.1, 3. 18 jan 2018. Disponível em: http://www.camara.sp.gov.br/wp-content/ uploads/2018/01/dom_capa.pdf. Acesso em: 16 de novembro de 2022.

São Paulo Transportes. (2022). Planilha de Custos. https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/institucional/sptrans/acesso_a_informacao/index.php?p=227887

São Paulo Transportes. (2021). Relatório Integrado da Administração. https://www.sptrans.com.br/relatorio-integrado-da-administracao-2021/

SILVA, J. D. E.; MOURA, F.; GARCIA, B.; VARGAS, R. Influential vectors in fuel consumption by an urban bus operator: Bus route, driver behavior or vehicle type? **Transportation Research Part D-Transport and Environment**, 38, p. 94-104, Jul 2015.

STEFFEN, W.; ROCKSTRÖM, J.; RICHARDSON, K.; LENTON, T. M.. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 115, n. 33, p. 8252-8259, 2018-08-14 2018.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. World Population Prospects 2019: highlights. New York: Office of the Director, Population Divisin, United Nations, 2019.

VEHVILAINEN, M.; LAVIKKA, R.; RANTALA, S.; PAAKKINEN, M*l.* Setting Up and Operating Electric City Buses in Harsh Winter Conditions. **Applied Sciences-Basel**, 12, n. 6, Mar 2022.

WANG, J. B.; LIU, K.; YAMAMOTO, T.; MORIKAWA, T. Improving estimation accuracy for electric vehicle energy consumption considering the effects of ambient temperature. 8th **International Conference on Applied Energy** (Icae2016), 105, p. 2904-2909, 2017.

WANG, S. F.; LU, C. R.; LIU, C. H.; ZHOU, Y.. Understanding the Energy Consumption of Battery Electric Buses in Urban Public Transport Systems. **Sustainability**, 12, n. 23, Dec 2020.

XYLIA, M.; LEDUC, S.; LAURENT, A.; PATRIZIO, P.; MEET, Y.; KRAXNER, F.; SILVEIRA, S. Impact of bus electrification on carbon emissions: The case of

Stockholm. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, 209, p. 74-87, 2019.

Correa, G.; Muñoz, P.M.; Rodriguez, C.R. A comparative energy and environmental analysis of a diesel, hybrid, hydrogen and electric urban bus. **Energy**, Volume 187, 2019.

Lim L.K., Ab Muis Z., Hashim H., Ho W.S., Mohd Idris M.N., 2021, Potential of Electric Bus as a Carbon Mitigation Strategies and Energy Modelling: A Review, **Chemical Engineering Transactions**, 89, 529-534.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO	2. DATA	3. REGISTRO N°	4. N° DE PÁGINAS
TC	22 de novembro de 2022	DCTA/ITA/TC-071/2022	43

5. TÍTULO E SUBTÍTULO:

O desempenho de ônibus elétricos à bateria em São Paulo em condições diferentes de temperatura do ar

6. AUTOR(ES):

João Carlos Daniel Barros

7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES):

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR:

Ônibus elétrico; Consumo Energético; Desempenho; Temperatura; Análise operacional; Frenagem Regenerativa

9.PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO:

Transporte rodoviário; Baterias elétricas; Ônibus (veiculos); Transporte urbano; Temperatura; Análise operacional; Frenagem; Transportes.

10. APRESENTAÇÃO: **(X) Nacional ( ) Internacional**

ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Prof. Dr. Eduardo Moraes Arraut. Publicado em 2022.

11. RESUMO:

As emissões de gases de efeito estufa tem alcançado níveis preocupantes, podendo causar danos irreversíveis para toda a vida terrestre. No setor de transporte rodoviário, responsável por grande parcela dessas emissões, a utilização de energias limpas tem sido cada vez mais discutidas e implementadas em diversos países. A tecnologia de ônibus elétricos a bateria tem sido muito promissora e está em fase inicial de implementação no transporte urbano brasileiro. No entanto, por ter um custo inicial alto e uma autonomia limitada, sua adoção tem sido lenta, sendo necessário um melhor entendimento e controle da performance dessa tecnologia. Nesse estudo obteve-se uma alta relação entre distância, energia regenerativa, velocidade e temperatura com o consumo energético das baterias. Mostramos que dias com maior distância percorrida e velocidade média geram além de uma maior percentual de energia regenerada pelas frenagens, um menor consumo energético. Para operações em dias mais frios, também obteve-se uma maior eficiência da bateria, relacionado diretamente com o consumo de aparelhos auxiliares, como ar-condicionado. Nossos resultados demonstram que o estudo de planejamento de rotas com possíveis linhas exclusivas de trânsito de ônibus, além da adoção de aparelhos auxiliares cada vez mais eficientes podem impactar bastante no consumo energético dos veículos elétricos. Espera-se que essas análises promovam uma maior visibilidade para o tópico e incentivem a exploração dessa tecnologia, resultando na adoção cada vez mais rápida de transporte limpos no país.

12. GRAU DE SIGILO:

(X) OSTENSIVO ( ) RESERVADO ( ) SECRETO