

**Estudo do consumo energético de veículos
elétricos:
Comparação com veículos convencionais
Versão final após defesa**

Duarte Filipe Silva Martins

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
(2^o ciclo de estudos)

Orientadora: Prof. Doutora Maria do Rosário Alves Calado

dezembro de 2023

Folha em branco

Declaração de Integridade

Eu, Duarte Filipe Silva Martins, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição 11929 de/o Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 13 / 12 / 2023

Folha em branco

Dedicatória

A todas as pessoas que de alguma maneira fizeram parte da minha vida.

À minha família, que desde o início, sempre estiveram e estarão ao meu lado.

Aos meus amigos: os antigos, os novos, os próximos e os que não estão fisicamente próximos.

Folha em branco

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que de alguma maneira fizeram parte da minha vida, nomeadamente: a toda a minha família e amigos pelo apoio que me deram para conseguir concluir esta etapa da minha vida.

Um agradecimento especial à professora Rosário Calado, pela sua disponibilidade, pelo seu conhecimento partilhado e pela sua gentileza.

Folha em branco

Resumo

Nos dias de hoje, temos várias opções de veículos para as circulações diárias da população. A opção mais comum é a utilização de veículos movidos a combustíveis com origem fóssil. Com o avanço da tecnologia, há uns anos atrás, apareceu a hipótese da utilização de veículos elétricos.

São muitos os aspetos diferenciadores entre estes dois tipos de veículos, como, por exemplo, os custos de aquisição das viaturas, custos de viagem, impostos e poluição.

No presente trabalho, foi realizada uma simulação no Simulink, onde foi simulado, observado e analisado o comportamento do veículo elétrico para três tipos de percursos e condução: em cidade, em estrada nacional/itinerário complementar e em autoestrada.

Seguidamente, foram analisados três automóveis elétricos (Renault Zoe, Audi Q4 e-tron e Tesla Model 3 Performance) e procedeu-se ao cálculo das despesas de viagem, realizando-se uma comparação com outros três veículos convencionais (Renault Clio, Audi Q8 e BMW 530d).

Palavras-chave

Veículo Elétrico; Veículo Convencional; Custos de aquisição e deslocação; Autonomia; Poluição; Impostos

Folha em branco

Abstract

Nowadays, we have several vehicle options for the daily circulation of the population. The most common option is to use vehicles powered by fossil fuels. With the advancement of technology, a few years ago, possibilities for the use of electric vehicles emerged.

There are many aspects to be analyzed between these two types of vehicles. For example, travel acquisition costs, travel costs, taxes and pollution.

In the present work, a simulation was carried out in the Simulink environment, where the behavior of an electric vehicle was observed and analysed considering three types of road paths and driving: in the city, on the national road/complementary route and on the highway.

After, three diferente electric cars (Renault Zoe, Audi Q4 e-tron and Tesla Model 3 Performance) were analysed and the travel expenses were calculated. Those expenses were compared with the ones of three conventional equivalent vehicles (Renault Clio, Audi Q8 and BMW 530d).

Keywords

Electric Vehicle; Conventional Vehicle; Acquisition and travel costs; Autonomy; Pollution; Taxes

Folha em branco

Índice

Dedicatória.....	v
Agradecimentos	vii
Resumo	ix
Palavras-chave	ix
Abstract.....	xi
Keywords	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Políticas ambientais, legislação e incentivos na mobilidade elétrica.....	1
2. Tipos de veículos.....	3
2.1. Veículos com motor de combustão interna.....	3
2.2. Veículos Elétricos.....	3
2.3. Tipos de carregamento	4
3. Perfis de estrada/Perfis de condução	5
4. Simulação do comportamento de um veículo elétrico.....	7
4.1. Modelo de Simulação	7
4.2. Funcionamento do modelo de simulação.....	11
4.3. Trajetos	11
5. Resultados da simulação e discussão.....	13
6. Comparação de Veículos Elétricos com Veículos Convencionais.....	20
6.1. Custo de viagens para veículos elétricos	20
6.2. Custo de viagens para veículos convencionais	22
6.3. Análise do tipo de veículo mais económico/cómodo.....	22
6.4. Custos de aquisição e de manutenção	24
6.5. Custo do ISV e do IUC	24
6.6. Impacto ambiental.....	24
7. Conclusões	25
8. Referências	26

Folha em branco

Lista de Figuras

Figura 1: Exemplo de gráfico velocidade/tempo num regime de condução citadino	5
Figura 2: Exemplo de gráfico velocidade/tempo num regime de condução em estrada nacional/itinerário complementar	6
Figura 3: Exemplo de gráfico velocidade/tempo num regime de condução em autoestrada	6
Figura 4: Primeira parte do modelo de simulação	7
Figura 5: Segunda parte do modelo de simulação	8
Figura 6: Terceira parte do modelo de simulação	8
Figura 7: Quarta parte do modelo de simulação	9
Figura 8: Modelo completo de simulação.....	10
Figura 9: Primeiro trajeto	11
Figura 10: Segundo trajeto	12
Figura 11: Terceiro trajeto.....	12
Figura 12: Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Renault Zoe (trajeto em cidade).....	13
Figura 13: Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Renault Zoe (trajeto em estrada nacional).....	14
Figura 14: Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Renault Zoe (trajeto em autoestrada)	14
Figura 15: Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Audi Q4 e-tron (trajeto em cidade).....	15
Figura 16: Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Audi Q4 e-tron (trajeto em estrada nacional).....	16
Figura 17: Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Audi Q4 e-tron (trajeto em autoestrada)	16
Figura 18: Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Tesla Model 3 Performance (trajeto em cidade).....	17
Figura 19: Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Tesla Model 3 Performance (trajeto em estrada nacional).....	18
Figura 20: Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Tesla Model 3 Performance (trajeto em autoestrada)	18

Folha em branco

Lista de Tabelas

Tabela 1: Custo das viagens em cidade e em autoestrada dos três veículos elétricos testados (Renault Zoe, Audi Q4 e-tron e Tesla Model 3 Performance) utilizando “energia fora de vazio”	23
Tabela 2: Custo das viagens em cidade e em autoestrada dos três veículos elétricos testados (Renault Zoe, Audi Q4 e-tron e Tesla Model 3 Performance) utilizando “energia vazio”	23
Tabela 3: Custo das viagens em cidade e autoestrada dos três veículos convencionais simulados (Renault Clio, Audi Q8 e BMW 530d).....	23

Folha em branco

Lista de Acrónimos

SOC	Estado de carga
EV	Veículo Elétrico
ISV	Imposto sobre Veículos
IUC	Imposto Único de Circulação

Folha em branco

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Atualmente, vivemos numa verdadeira revolução tecnológica. Todos os dias são anunciados novos desenvolvimentos, tecnologias e melhorias nas tecnologias existentes. O crescimento económico tem resultado num aumento proporcional nas emissões de gases de efeito de estufa, resultando na degradação do meio ambiente. O desenvolvimento da indústria, o aumento do número e da circulação de automóveis e uma necessidade de os países em vias de desenvolvimento aumentarem o seu ritmo de crescimento, estão também associados ao aumento da poluição. A utilização massiva de combustíveis fósseis, enquanto principal fonte de energia, tem implicações bastante severas no meio ambiente. No entanto, num passado recente, é possível verificar que são bastantes os países (Estados Unidos da América, Alemanha, França, entre outros) que se começaram a preocupar verdadeiramente com estas questões, e a tomarem diversas ações para contrariar esse aumento da poluição e das implicações da utilização dos combustíveis de origem fóssil. Um pouco por todo o mundo, verifica-se que há uma tendência na aposta na utilização de energias ditas verdes, na exploração de novas tecnologias e na consciencialização da população para que adotem comportamentos mais ecológicos[1].

Os veículos elétricos, em particular, durante a sua deslocação, não emitem gases nocivos para o ambiente (como é o caso dos veículos movidos a combustíveis fósseis). Para além disto, proporcionam, genericamente, as mesmas condições que um veículo convencional, sem grande parte dos seus custos de manutenção. São incomparavelmente mais silenciosos, são mais económicos (no que diz respeito ao consumo) e não utilizam (pelo menos diretamente) combustíveis fósseis. No entanto, apesar de apresentarem todas estas vantagens, a sua autonomia é, em geral, menor do que a de um automóvel convencional[1].

1.2. Políticas ambientais, legislação e incentivos na mobilidade elétrica

A mobilidade elétrica constituiu-se como uma prioridade do governo português, manifestada no âmbito da execução do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética – Portugal Eficiência 2015 – (designado por PNAEE), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/ 2008, de 17 de abril, na sequência da aprovação, pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de outubro, da Estratégia Nacional para a Energia[2].

Estabelecia-se no PNAEE que, até ao ano de 2015, deveriam ser implementadas medidas de melhoria da eficiência energética equivalentes a 10% do consumo final de energia, nos termos previstos na Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de abril, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos. A adoção deste novo modelo de mobilidade e, conseqüentemente, a utilização do carro elétrico, constitui não só uma alternativa que permite reduzir a dependência externa de combustíveis fósseis (e, por isso,

ambientalmente mais sustentável), como também permite que a produção de energia elétrica necessária à alimentação dos veículos possa beneficiar das fontes de energia renováveis[2].

Agora, realizando uma abordagem ao nível europeu, o sucesso na venda de veículos elétricos é bastante notável. Parte deste sucesso é devido às políticas públicas de incentivo e à legislação implementada ao nível da mobilidade elétrica na Europa[2].

Em primeiro lugar, há que salientar a grande importância da disponibilização de uma rede sólida de carregamento de baterias, assim como dos incentivos económicos lançados. Veja-se, a título de exemplo, o caso da Holanda, em que os veículos elétricos beneficiam de reduções de impostos significativas, tanto ao nível dos impostos de circulação, como do registo de veículos, ou da Noruega, em que a compra de veículos elétricos está isenta do pagamento do IVA, assim como os veículos estão isentos de uma série de outros impostos, do pagamento de portagens nas autoestradas e estão autorizados a circular nas vias destinadas aos transportes públicos[2].

São medidas como estas que, ao incentivarem os consumidores à compra destes veículos, fazem nascer e crescer o mercado da mobilidade elétrica, criando competição e concorrência nas várias atividades do setor, quer seja ao nível da produção de energia para mobilidade elétrica, quer ao nível do desenvolvimento da indústria tecnológica dos automóveis e das próprias baterias e sistemas de carregamento, quer também ao nível da operação dos pontos de carregamento e da gestão das redes [2].

2. Tipos de veículos

2.1. Veículos com motor de combustão interna

O motor de combustão interna transforma a energia proveniente de uma reação química em energia mecânica. Este é o motor utilizado na grande maioria dos veículos atuais movidos a combustível. No funcionamento destes motores, o que impulsiona os pistões, é o aumento da pressão interna na câmara de combustão[3].

Como combustíveis tradicionais para o funcionamento de um motor de combustão interna, refira-se: o gasóleo e a gasolina[3].

O gasóleo é um composto formado principalmente por hidrocarbonetos e, em baixas concentrações, por enxofre, nitrogénio e oxigénio. Derivado do petróleo, o gasóleo é altamente tóxico e inflamável[3].

A gasolina é um combustível constituído basicamente por hidrocarbonetos, podendo conter compostos de enxofre e de nitrogénio. Esses hidrocarbonetos são, em geral, mais "leves" do que aqueles que compõem o gasóleo[3].

Os motores movidos a gasóleo são mais robustos, potentes, duráveis e confiáveis do que os motores movidos a gasolina, e também utilizam o combustível de forma mais eficiente, de acordo com o Escritório de Eficiência Energética e Energias Renováveis dos Estados Unidos (OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY, 2003). Por ter uma cadeia de hidrocarbonetos maior, o gasóleo possui um maior poder calorífico. Isso faz com que os veículos que utilizam gasóleo como combustível sejam mais económicos, consumindo menos combustível por quilómetro percorrido. Portanto, motores movidos a gasóleo são mais eficientes do que os motores movidos a gasolina[3].

Por outro lado, o gasóleo é o combustível que mais polui e o que mais tem colaborado para as emissões de dióxido de carbono (CO₂), o principal gás de efeito estufa. No seu processo de combustão, os motores movidos a gasóleo emitem gases que prejudicam a qualidade do ar. Apesar de ser um combustível mais económico, a combustão do gasóleo emite compostos que causam danos ao meio ambiente e são cancerígenos. Nos motores movidos a gasóleo, as misturas de ar e combustível são menos homogéneas do que nos motores movidos a gasolina, além do gasóleo ser um combustível menos volátil. Desta forma, para assegurar uma combustão completa, deve existir excesso de ar na câmara de combustão. Na falta desse excesso de ar, há emissão de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC), por conta da combustão incompleta, e esse motor chega a poluir sete vezes mais o meio ambiente do que o motor movido a gasolina[3].

2.2. Veículos Elétricos

Um veículo elétrico é um automóvel que utiliza, pelo menos, um motor elétrico para o acionamento das rodas. Eles caracterizam-se pela alta eficiência energética e por não produzirem emissões poluentes nem ruídos. O funcionamento de um motor elétrico é feito de

maneira muito diferente dos tradicionais a combustão, pois é realizado através de um regulador que passa a quantidade correta de energia das baterias para o motor[3].

A configuração mecânica de um veículo elétrico difere dos veículos movidos por um motor de combustão interna. Os veículos elétricos não emitem gases de efeito estufa, pois não há queima de combustíveis durante a sua circulação[3].

Em comparação com os veículos movidos a combustíveis fósseis, possuem uma menor autonomia e um maior tempo de reabastecimento. Um veículo elétrico satisfará as necessidades do utilizador numa condução em cidade. Já numa viagem longa, será mais difícil (devido à autonomia ser mais reduzida), porém pode realizar a recarga da bateria em postos de carregamento destinados a esse efeito[3].

2.3. Tipos de carregamento

Atualmente, é possível carregar os automóveis elétricos em casa ou em postos de carregamento específicos. Os custos de carregamento dos carros elétricos deverão ficar entre 1,5 euros e 4,5 euros por cada 100 quilómetros. O valor mais baixo (1,5 euros) diz respeito a um automóvel abastecido durante a noite, na casa do proprietário, num regime de tarifa bi-horária. Já o preço mais elevado, deverá corresponder a um posto de carregamento rápido, que reduz o tempo necessário de recarga para o automóvel ficar com a bateria pronta a utilizar o mais rápido possível[4].

3. Perfis de estrada/Perfis de condução

Podemos definir, genericamente, três tipos de perfis de estrada/perfis de condução. Sendo eles: (1) a condução em cidade, que, normalmente, tem uma velocidade máxima de circulação de 50 km/h; (2) a condução em estradas nacionais/itinerários complementares e que tem uma velocidade máxima de circulação de 90 km/h; (3) a circulação em autoestrada, que está limitada a 120 km/h. Estes limites de velocidade podem ser reduzidos em algumas partes da via rodoviária (devido a zonas perigosas de circulação ou obras, por exemplo), contudo estas alterações são definidas com sinais de trânsito adequados [5].

No gráfico da Figura 1 exemplifica-se um percurso em regime de condução em cidade [5], observando-se três paragens (aproximadamente, dos 30 aos 50 segundos, dos 90 aos 115 segundos e dos 180 aos 190 segundos), sendo as duas primeiras, possivelmente, devidas a uma paragem num semáforo ou passadeira (dado que o gráfico é referente a uma condução em cidade), e a última será, a chegada ao destino. É de notar algumas oscilações na velocidade, o que deverá ser devido a passagens por zonas escolares ou obras, por exemplo, onde os limites de velocidade são reduzidos.

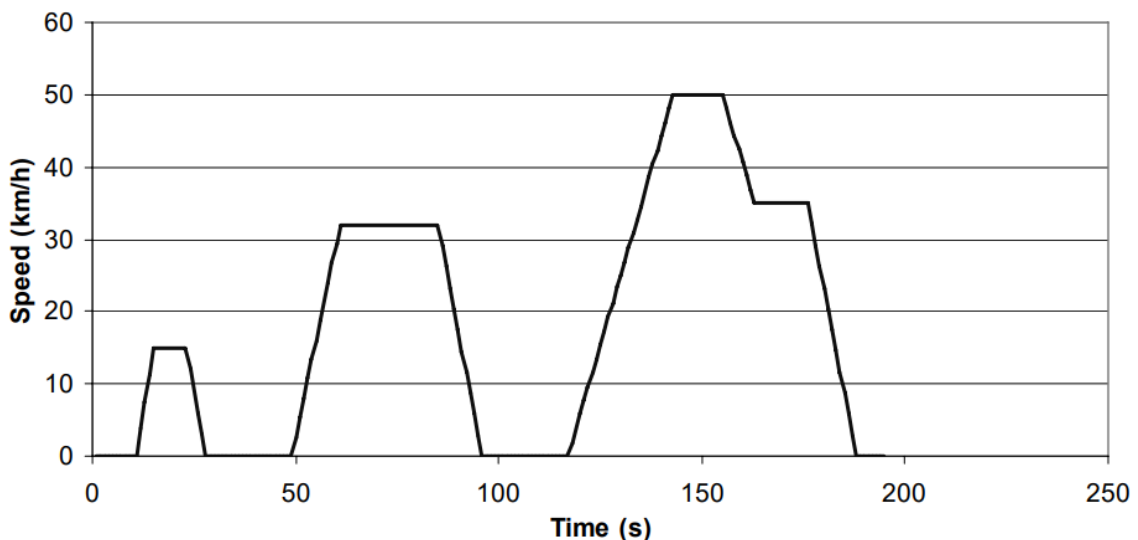


FIGURA 1 | Exemplo de gráfico velocidade/tempo num regime de condução citadino

No gráfico da Figura 2 exemplifica-se um percurso em regime de condução suburbano [5], observando-se algumas oscilações de velocidade, provavelmente devido a limites de velocidade impostos em certas zonas da via rodoviária (em zonas de condução mais perigosas ou passagem por obras, por exemplo).

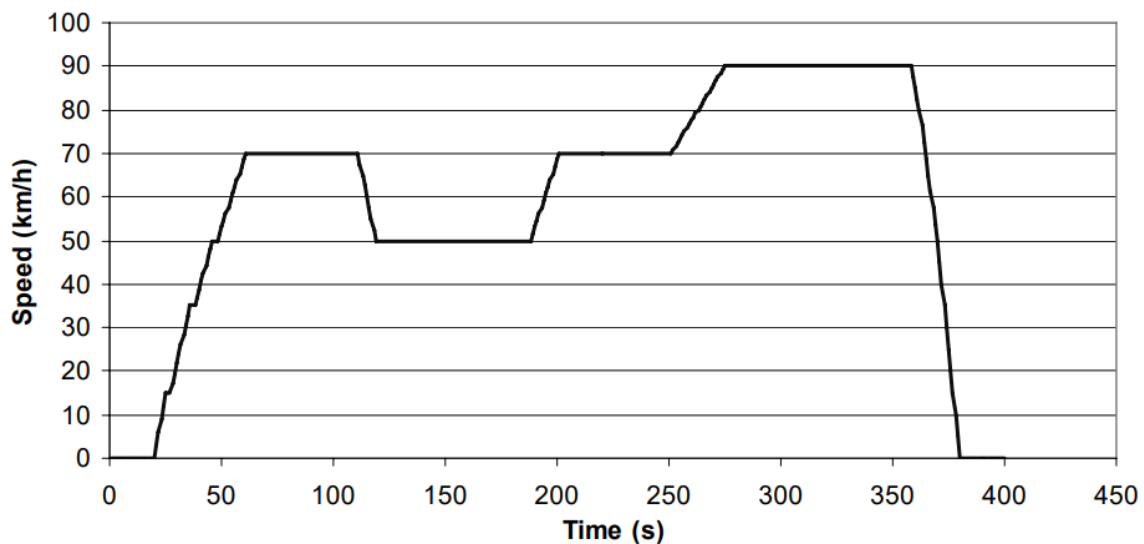


FIGURA 2 | Exemplo de gráfico velocidade/tempo num regime de condução em estrada nacional/itinerário complementar

No gráfico da Figura 3 exemplifica-se um percurso em regime de condução em autoestrada [5], onde também são observadas algumas oscilações na velocidade. Provavelmente, são devidas aos limites de velocidade na estrada que vai fazer ligação para entrar na autoestrada.

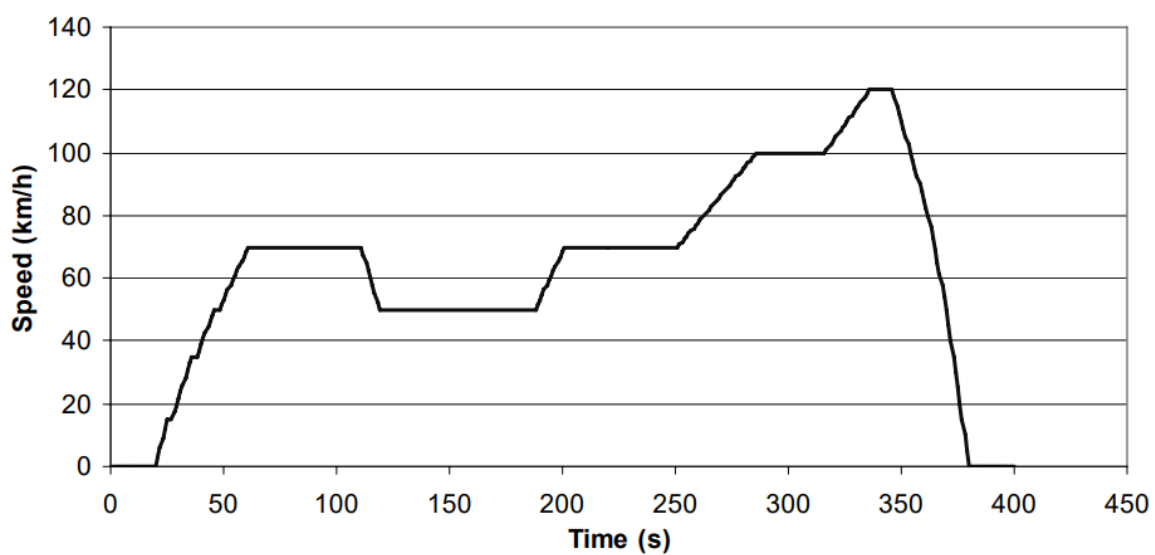


FIGURA 3 | Exemplo de gráfico velocidade/tempo num regime de condução em autoestrada

4. Simulação do comportamento de um veículo elétrico

4.1. Modelo de Simulação

Foi proposta a criação de um modelo de simulação com o objetivo de simular o comportamento de um veículo elétrico durante os seus diversos tipos de condução (o objetivo do modelo será um modelo simplista, portanto não foi utilizado o fator aceleração).

Com a ajuda do Simulink, foi então criado esse modelo. O modelo foi dividido em quatro partes, onde há uma combinação de peças elétricas e mecânicas. A primeira parte (Figura 4) é constituída pela carroceria do veículo (representado por (1) na Figura 4), que representa um veículo de quatro rodas (não foi utilizado um diferencial, pois foram consideradas quatro rodas motrizes), onde pode ser definida a massa do veículo. É também constituída pelas rodas (representado por (2) na Figura 4), com comportamento longitudinal, que estão conectadas à carroceria do veículo. A primeira parte do modelo também é constituída pela caixa de velocidades (representado por (3) na Figura 4), que fornece ao condutor a capacidade de ajustar a velocidade do veículo em relação à rotação do motor [6].

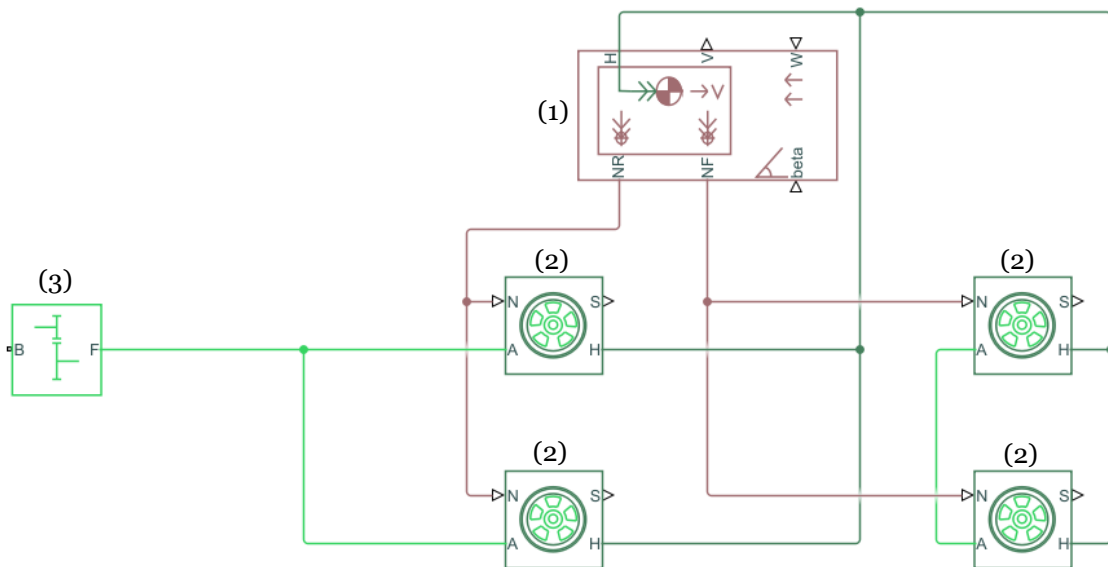


FIGURA 4 | Primeira parte do modelo de simulação

A segunda parte (Figura 5) engloba o motor do tipo DC (representado por (4) na Figura 5) e o controlador PWM (representado por (5) na Figura 5), que é utilizado para fornecer uma tensão de saída PWM controlada. O sinal PWM é utilizado para controlar a velocidade do motor. A segunda parte do modelo de simulação também engloba um circuito de ponte H (representado por (6) na Figura 5), que é utilizado para acionar o motor [6].

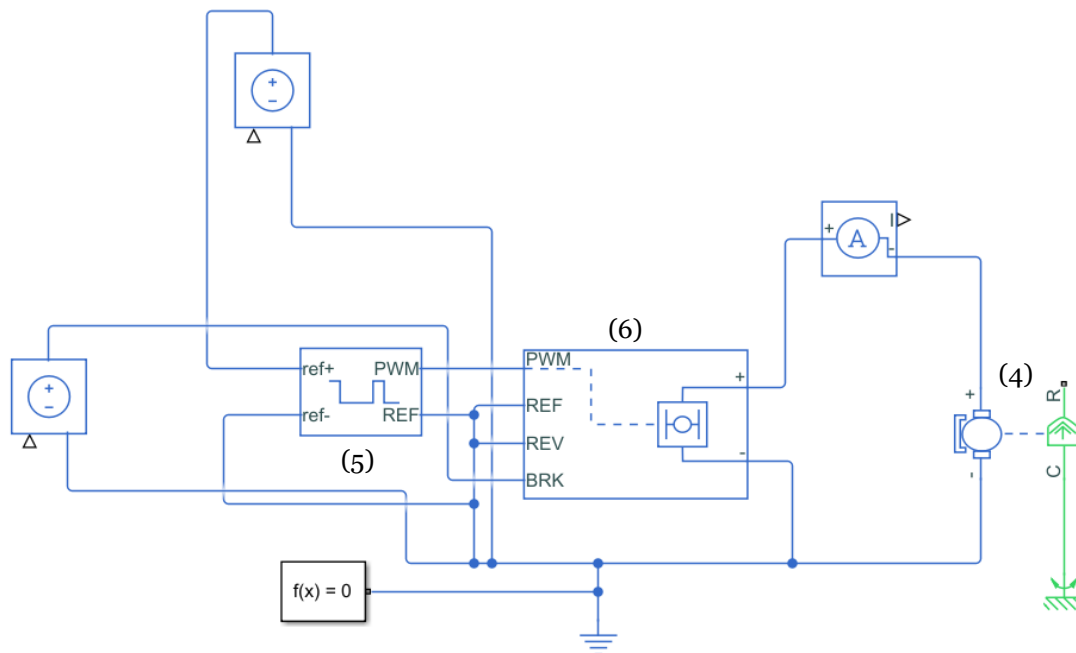


FIGURA 5 | Segunda parte do modelo de simulação

A terceira parte (Figura 6) é onde é definido o perfil de condução, isto é, o tipo de trajetória (representado por (7) na Figura 6) e a velocidade média (representada por (8) na Figura 6), em km/h. O bloco “Longitudinal Driver” funciona como um motorista real que interpreta a velocidade do veículo a partir de um sinal de referência. O bloco é capaz de obter resposta sobre velocidade do veículo e alterar a velocidade fornecendo sinais de saída, podendo decidir quando o veículo precisa de acelerar ou travar [6].

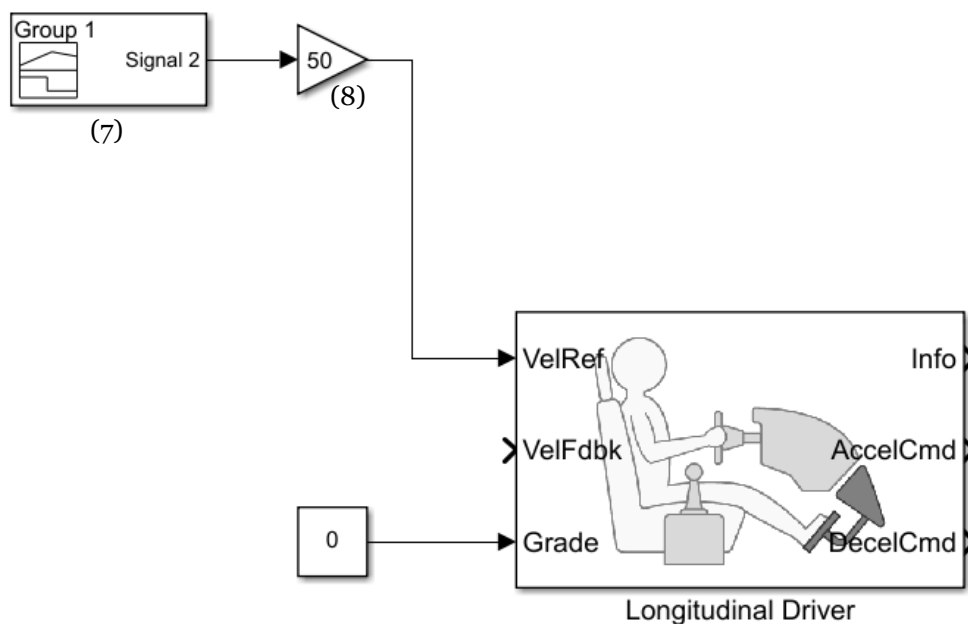


FIGURA 6 | Terceira parte do modelo de simulação

A última parte (Figura 7) modela a bateria (representada por (9) na Figura 7), onde os valores da tensão e capacidade nominais vão ser ajustados, dependendo do veículo escolhido [7].

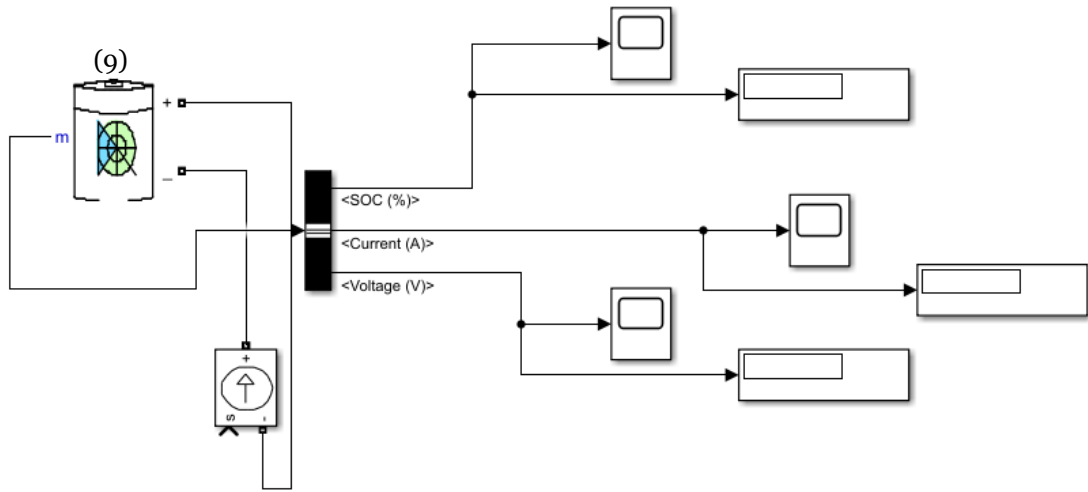


FIGURA 7 | Quarta parte do modelo de simulação

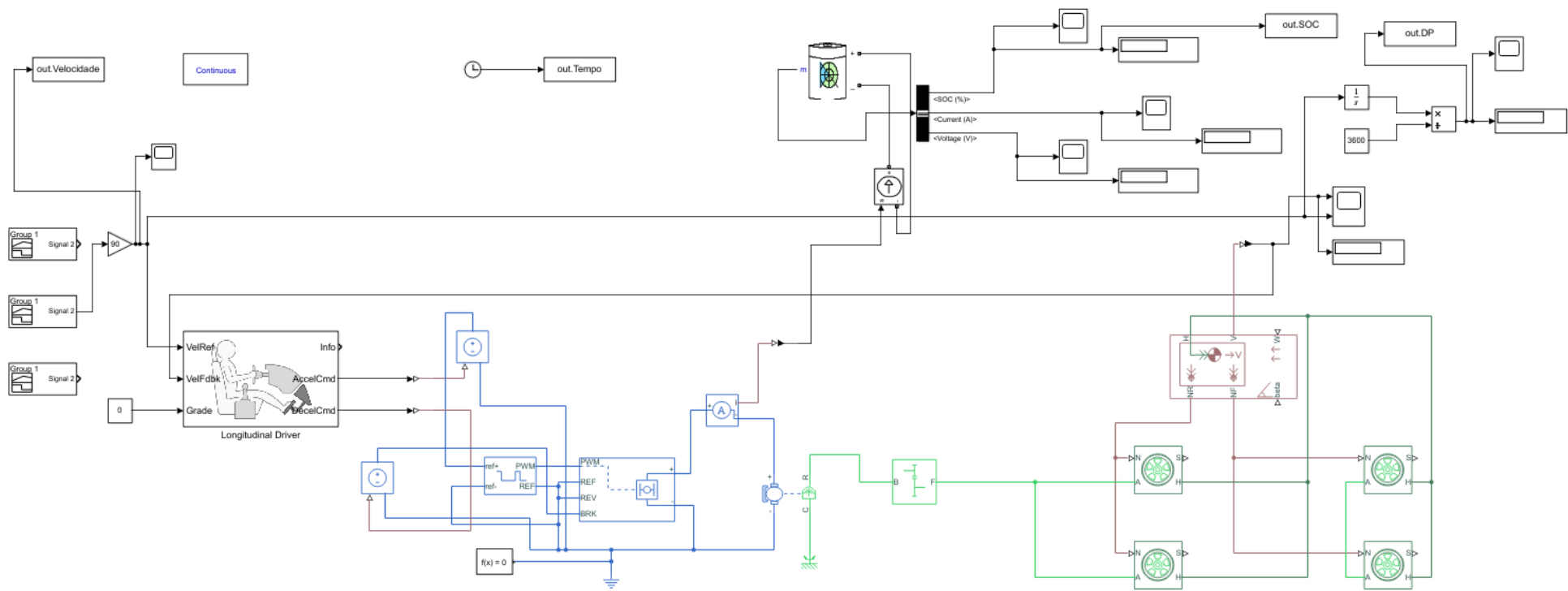


FIGURA 8 | Modelo completo de simulação

A partir deste modelo, podemos concluir que o motor vai receber energia elétrica da bateria e vai fornecer energia mecânica à caixa de velocidades, realizando assim o movimento do veículo. Se a bateria for conectada diretamente ao motor, o controlo de velocidade do motor não seria possível, e, portanto, o controlador é conectado entre a bateria e o motor [7].

4.2. Funcionamento do modelo de simulação

A simulação foi realizada com três veículos elétricos diferentes, Renault Zoe R110, Audi Q4 e-tron 40 e Tesla Model 3 Performance, em três trajetos diferentes.

Cada veículo tem as suas características e, portanto, elas são alteradas no modelo de veículo para veículo. As principais características são: a massa do veículo, a potência, a tensão nominal e a capacidade nominal. A massa é alterada no bloco de simulação “Vehicle Body”, a potência do veículo no bloco “DC Motor” e a tensão nominal e capacidade nominal no bloco “Battery”.

4.3. Trajetos

São propostos 3 trajetos diferentes de condução, baseados nos três tipos de condução principais dos condutores, que são: a condução em cidade, em estrada nacional e em autoestrada. O primeiro (Figura 9) representa o tipo de condução citadina, não excedendo os 50 km/h, onde são simuladas paragens em semáforos e passadeiras.

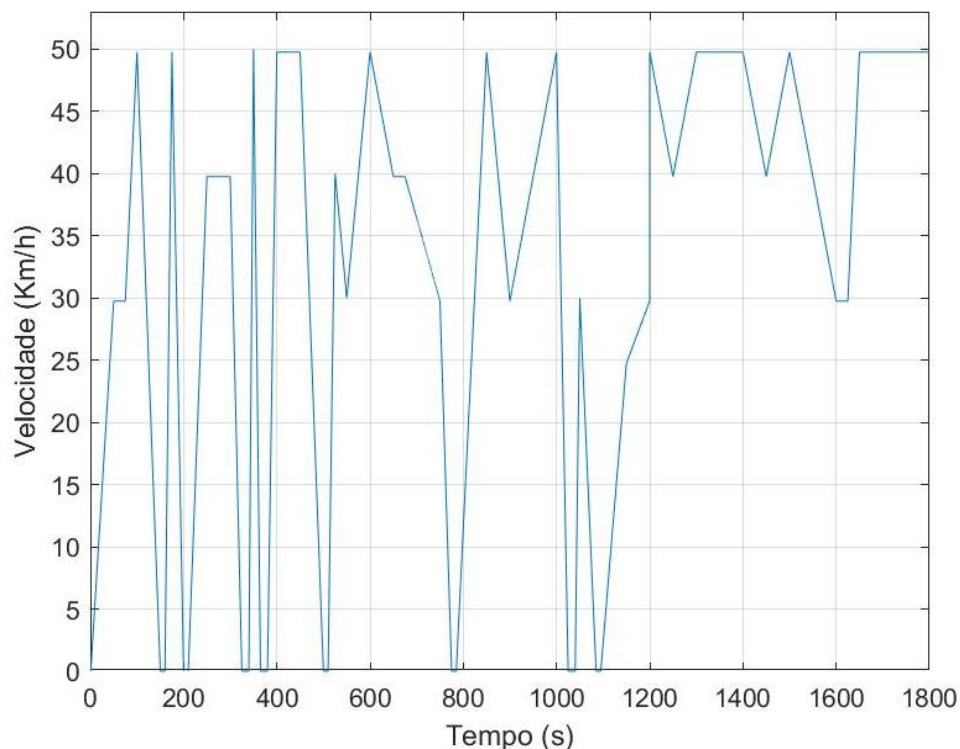


FIGURA 9 | Primeiro trajeto

O segundo trajeto (Figura 10) representa a condução numa estrada nacional/itinerário complementar, com algumas variações de velocidade, não excedendo os 90 km/h.

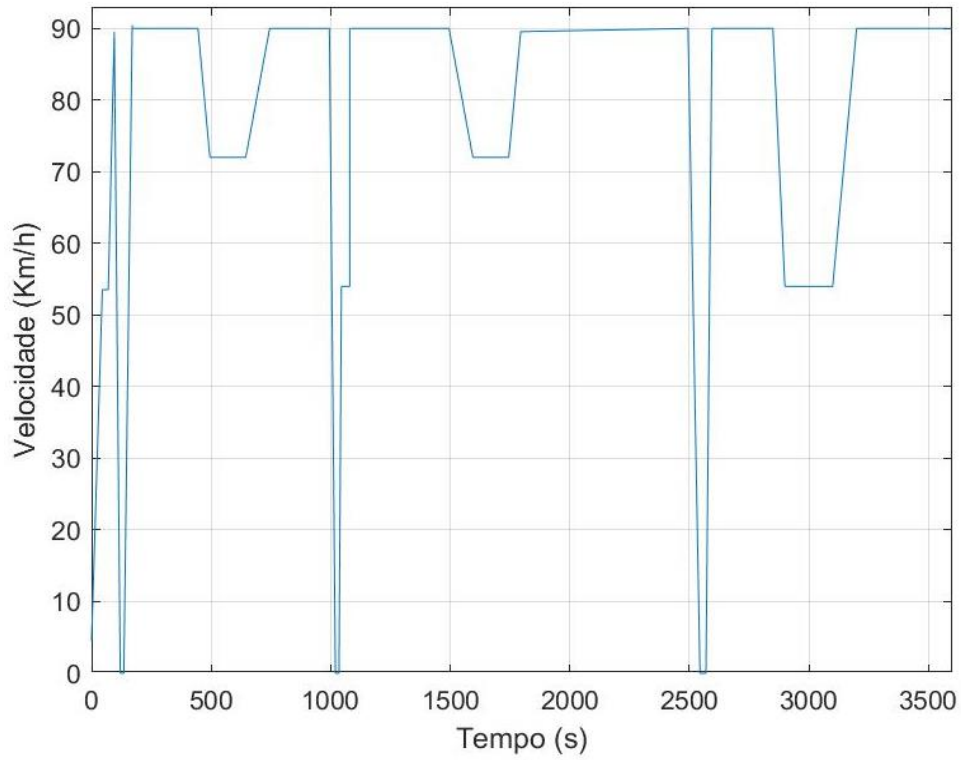


FIGURA 10 | Segundo trajeto

Por fim, o terceiro trajeto (Figura 11) representa uma condução em autoestrada, com velocidade, maioritariamente, constante e não excedendo os 120 km/h.

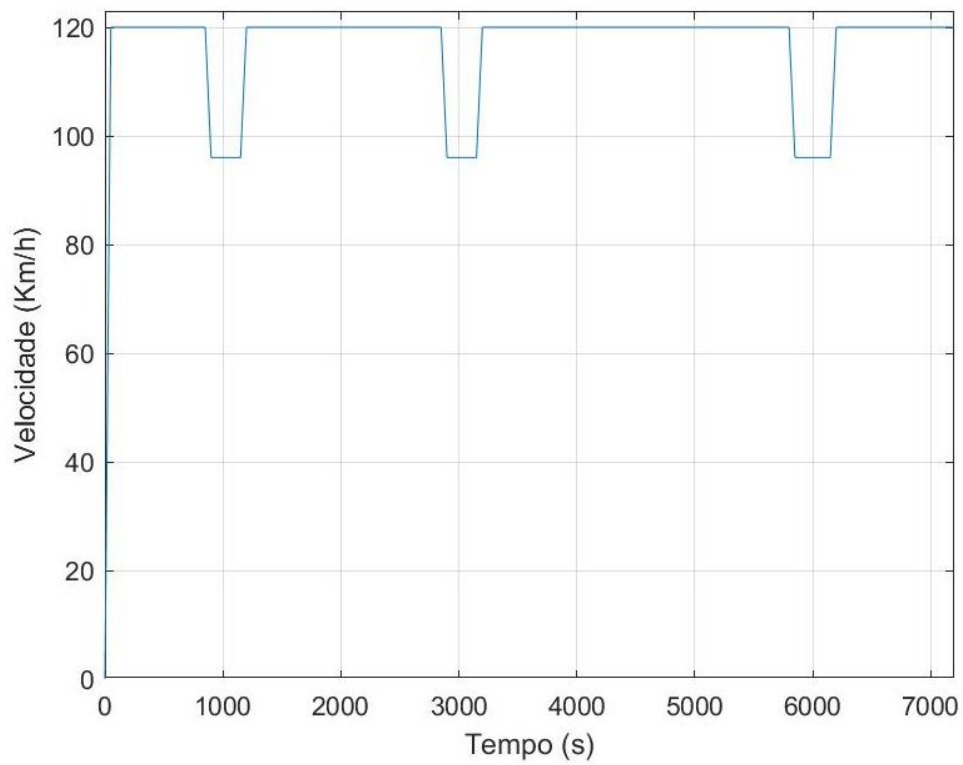


FIGURA 11 | Terceiro trajeto

5. Resultados da simulação e discussão

O primeiro veículo elétrico a ser testado foi o Renault Zoe, que possui uma massa de 1577 kg, uma potência de 79 kW, uma tensão nominal de 350 V, uma capacidade nominal de 157 Ah (foi feita a conversão de kWh para Ah) e uma autonomia de 390 km [8].

O principal objetivo desta simulação é calcular o custo que um veículo elétrico tem para percorrer determinada distância. Para obter esse resultado, vamos ter que utilizar a variação do SOC da bateria do veículo, que define o estado da sua carga atual, ao longo da distância percorrida, dado que, com este valor, é possível saber quantos kWh de bateria foram gastos para percorrer a distância desejada e assim calcular o consumo do automóvel elétrico.

Para o primeiro trajeto (circulação em cidade), com uma duração de simulação de 1800 segundos (30 minutos) e uma velocidade máxima de 50 km/h, foi percorrida uma distância de 16.74 km e o SOC da bateria encontrava-se nos 94.04 %. Já para o segundo trajeto (circulação em estrada nacional), com uma duração de 3600 segundos (1 hora) e uma velocidade máxima de 90 km/h, foi percorrida uma distância de 79.93 km e o SOC da bateria era de 80.53 %. Por fim, o terceiro trajeto (circulação em autoestrada) teve uma duração de 7200 segundos (2 horas), com uma velocidade máxima de 120 km/h, onde foram percorridos 232.9 km de distância e o SOC encontrava-se nos 60.03 %. Os gráficos dos respectivos trajetos são ilustrados nas Figuras 12,13 e 14.

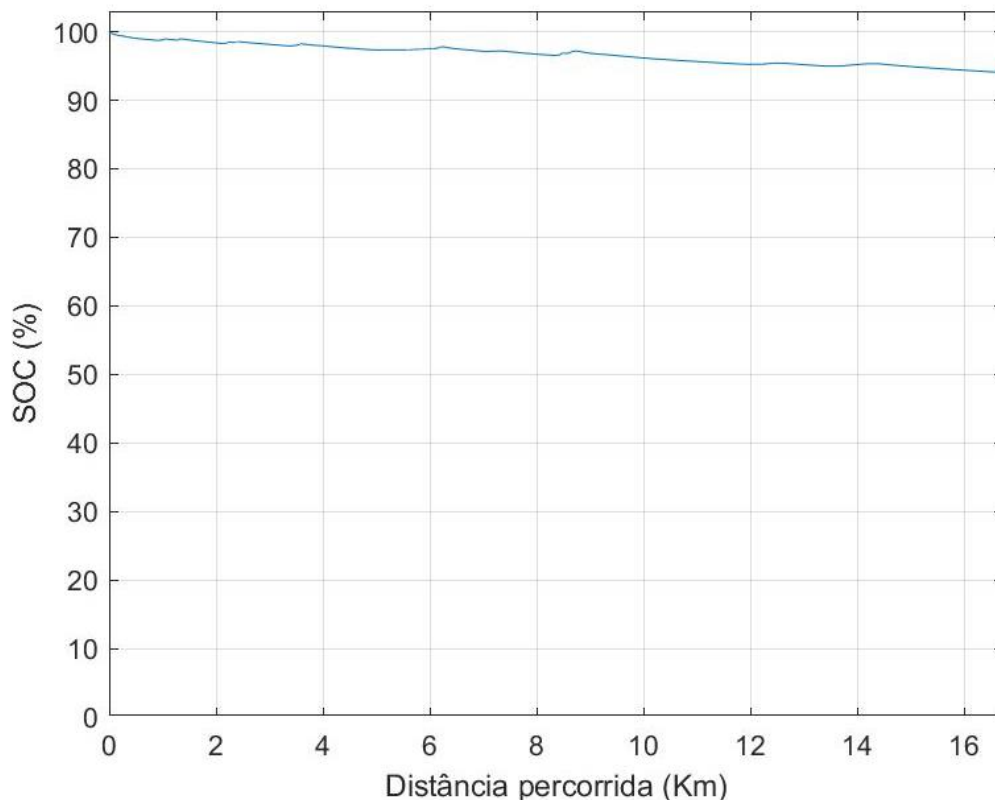


FIGURA 12 | Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Renault Zoe (trajeto em cidade)

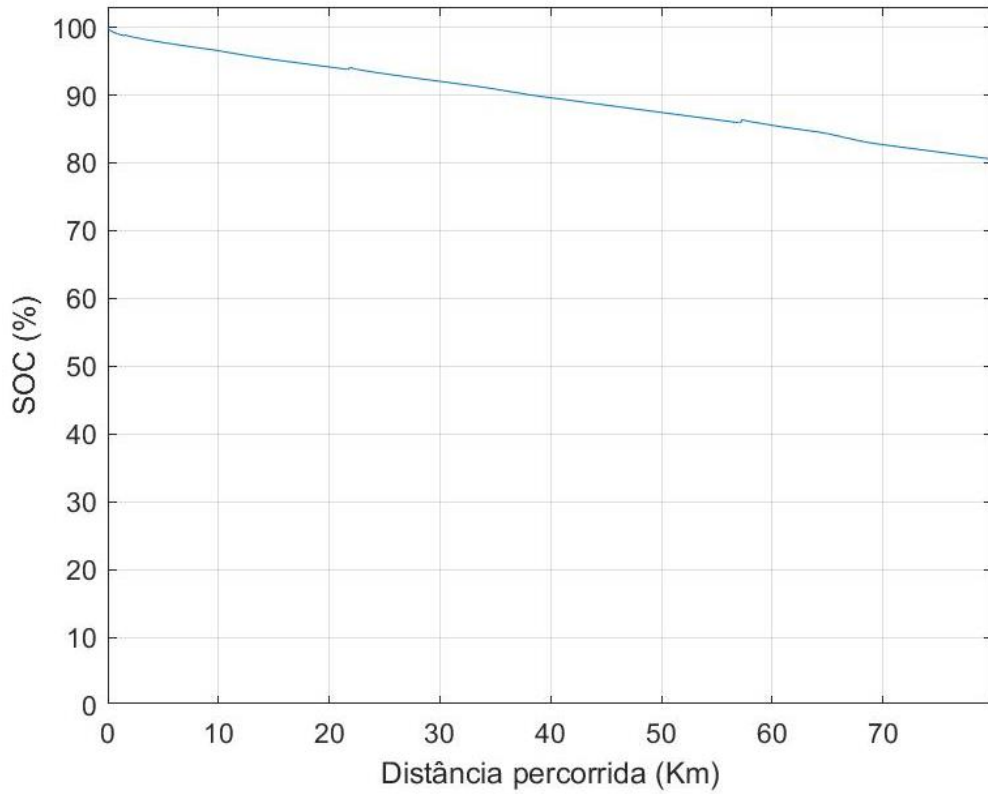


FIGURA 13 | Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Renault Zoe (trajeto em estrada nacional)

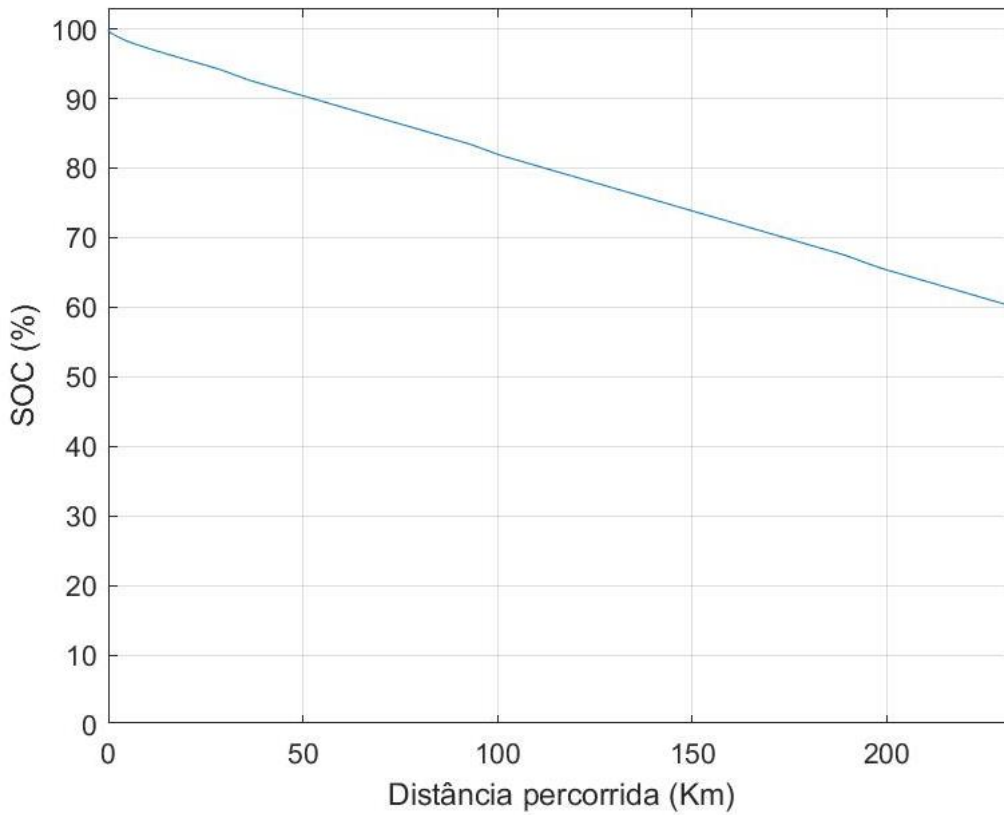


FIGURA 14 | Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Renault Zoe (trajeto em autoestrada)

O segundo veículo a ser testado foi então o Audi Q4 e-tron, que possui uma massa de 2115 kg, uma potência de 150 kW, uma tensão nominal de 350 V, uma capacidade nominal de 234 Ah (foi feita a conversão de kWh para Ah) e uma autonomia de 520 km[9]. Para o primeiro trajeto (circulação em cidade), com uma duração de simulação de 1800 segundos (30 minutos) e uma velocidade máxima de 50 km/h, foi percorrida uma distância de 16.74 km e o SOC era de 95.31 %. Já para o segundo trajeto (circulação em estrada nacional), com uma duração de 3600 segundos (1 hora) e uma velocidade máxima de 90 km/h, foram percorridos 79.92 km de distância e o SOC da bateria rondava os 83.28 %. Por fim, o terceiro trajeto (circulação em autoestrada), teve uma duração de 7200 segundos (2 horas) e uma velocidade máxima de 120 km/h, onde foram percorridos 232.8 km de distância e o SOC da bateria era de 65.27 %. Os gráficos dos respectivos trajetos são ilustrados nas Figuras 15,16 e 17.

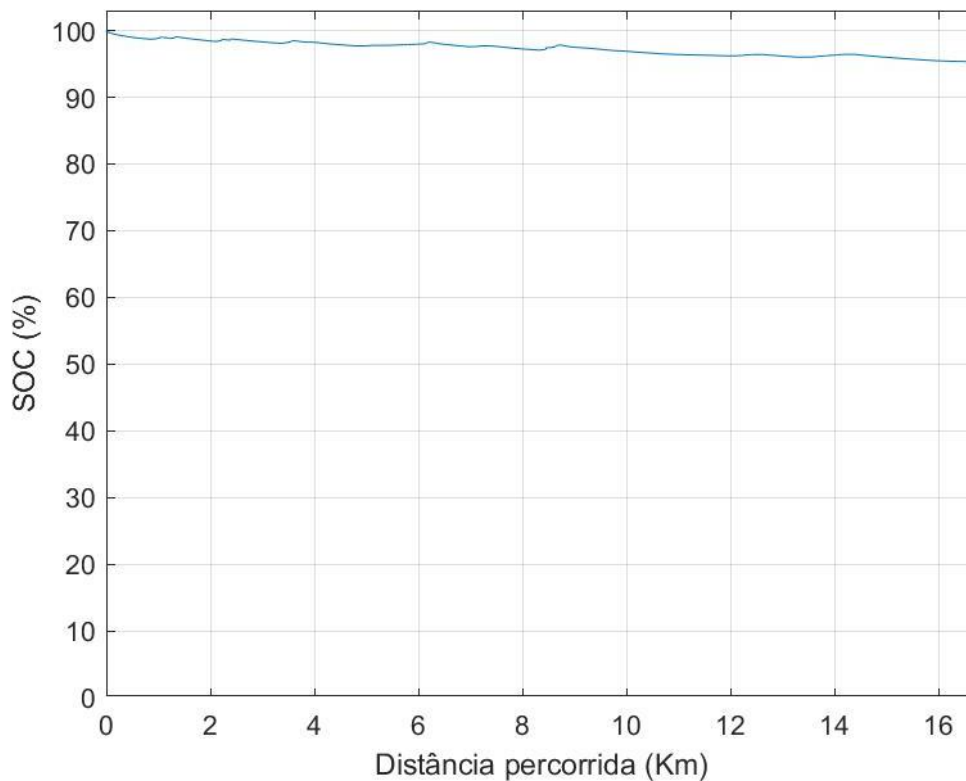


FIGURA 15 | Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Audi Q4 e-tron (trajeto em cidade)

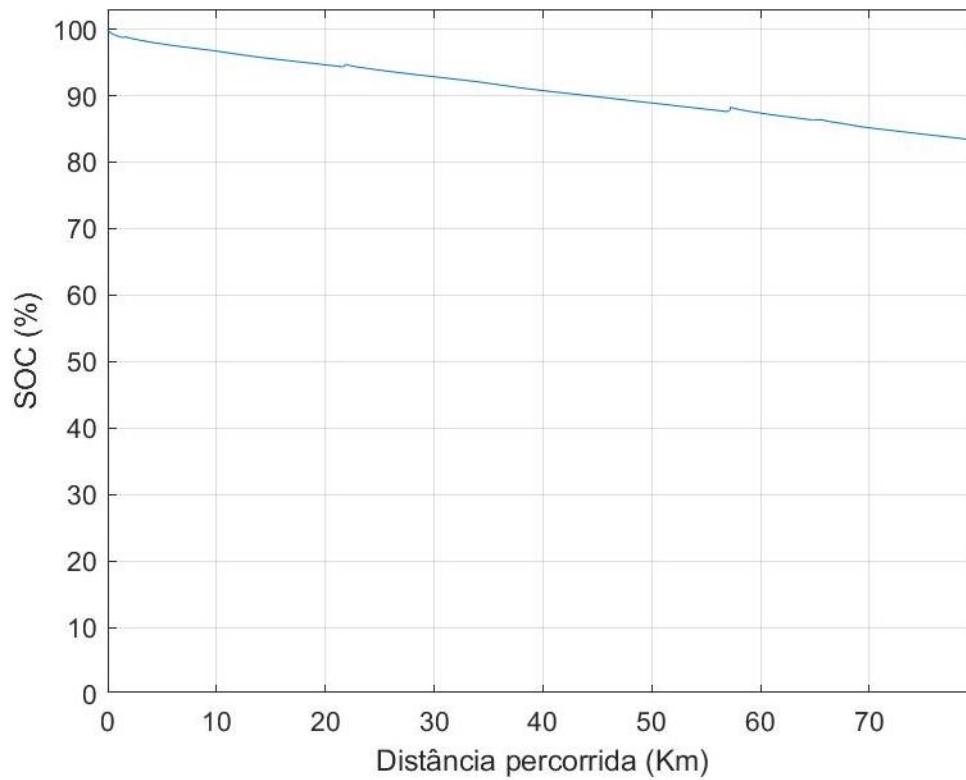


FIGURA 16 | Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Audi Q4 e-tron (trajeto em estrada nacional)

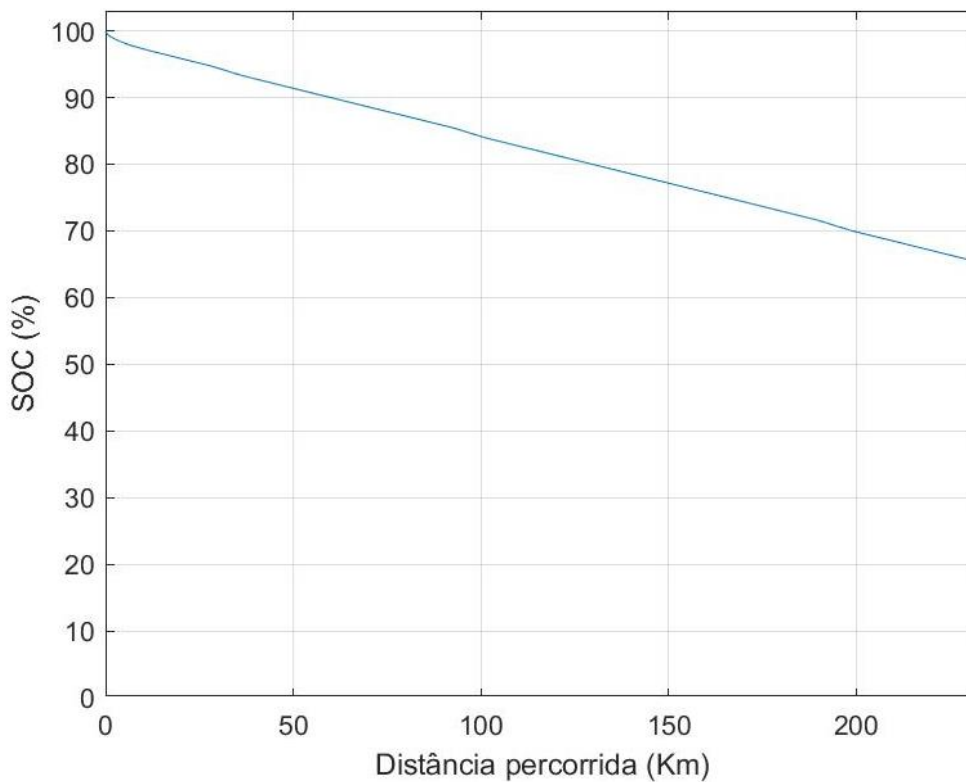


FIGURA 17 | Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Audi Q4 e-tron (trajeto em autoestrada)

Por fim, o terceiro e último veículo testado foi o Tesla Model 3 Performance, que possui uma massa de 1847 kg, uma potência de 340 kW, uma tensão nominal de 357 V, uma capacidade nominal de 210 Ah (foi feita a conversão de kWh para Ah) e uma autonomia de 530 km[10]. Para o primeiro trajeto (circulação em cidade), com uma duração de 1800 segundos (30 minutos) e uma velocidade máxima de 50 km/h, foram percorridos 16.74 km e o SOC da bateria era de 94.84 %. Já no segundo trajeto (circulação em estrada nacional), com uma duração de 3600 segundos (1 hora) e uma velocidade máxima de 90 km/h, foi percorrida uma distância de 79.92 km e o SOC atual da bateria era de 77.61 %. Por fim, o terceiro trajeto (circulação em autoestrada), teve uma duração de 7200 segundos (2 horas) e uma velocidade máxima de 120 km/h, onde foram percorridos 232.8 km de distância e o SOC da bateria era de 52.59 %. Os gráficos dos respectivos trajetos são ilustrados nas Figuras 18,19 e 20.

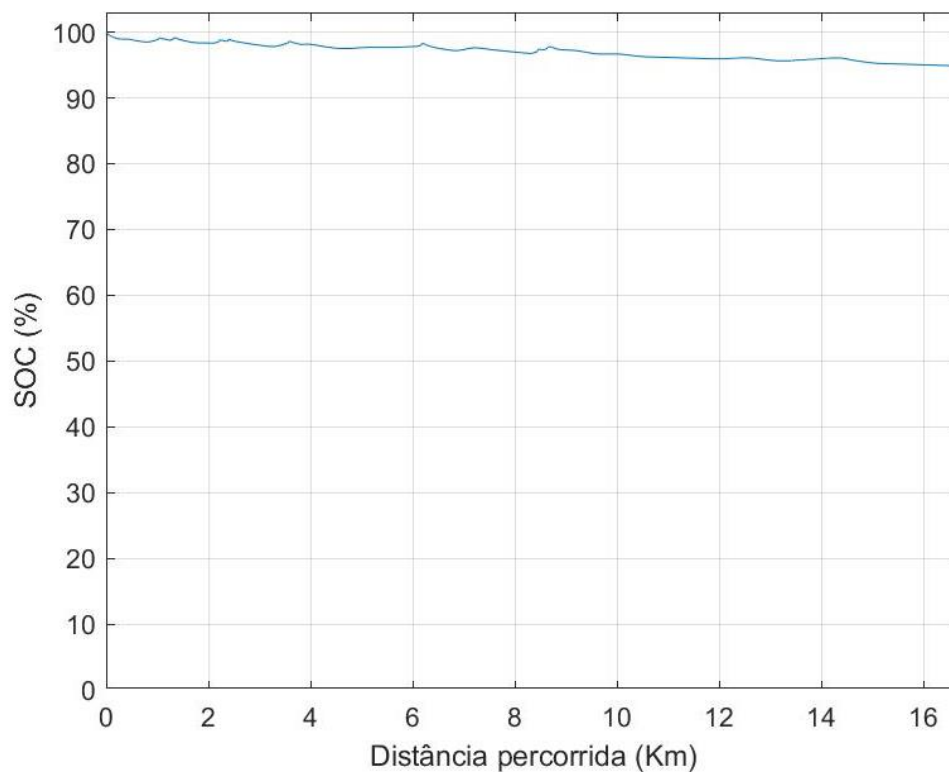


FIGURA 18 | Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Tesla Model 3 Performance (trajeto em cidade)

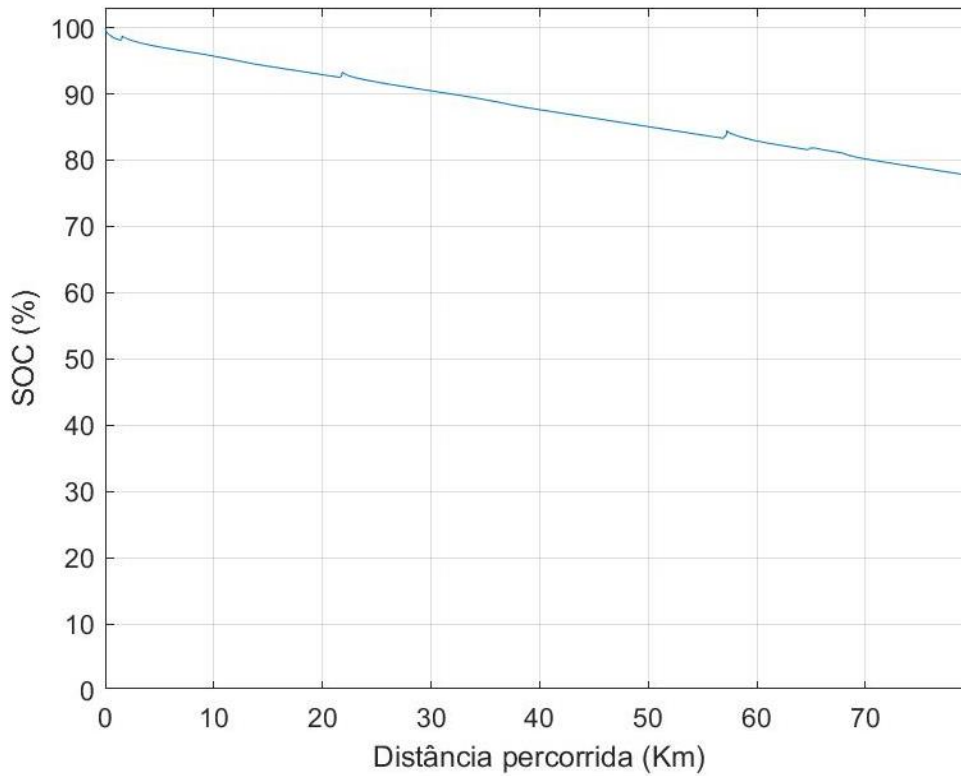


FIGURA 19 | Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Tesla Model 3 Performance (trajeto em estrada nacional)

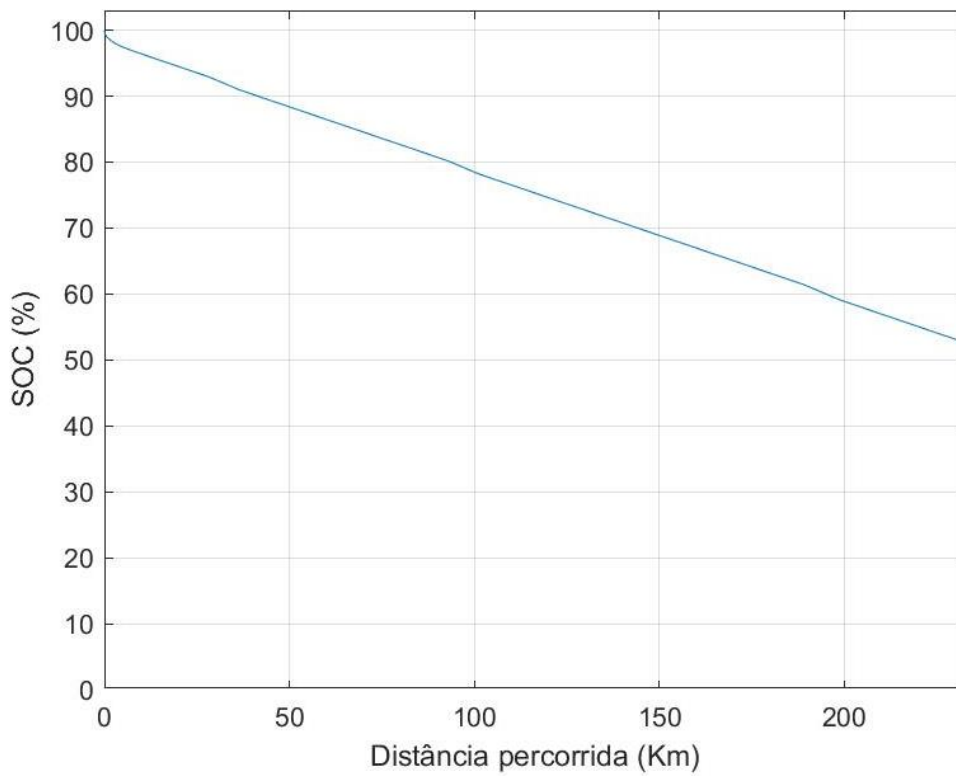


FIGURA 20 | Gráfico do SOC em função da distância percorrida pelo Tesla Model 3 Performance (trajeto em autoestrada)

Nos gráficos dos trajetos em cidade e em estrada nacional há poucas variações no SOC, mas é possível observar travagem regenerativa, pois observa-se o SOC a aumentar e a diminuir. Este processo não acontece nos gráficos do trajeto em autoestrada, pois em autoestrada é rara a utilização do pedal do travão.

Podemos concluir que ambos os carros elétricos, têm um gasto de energia semelhante quando circulam em cidade ou estrada nacional. Quando circulam em autoestrada, os três veículos têm um gasto de energia ligeiramente superior ao circularem em cidade/estrada nacional, sendo o Tesla Model 3 Performance o que tem o maior gasto, mas também é o que tem maior potência.

6. Comparação de Veículos Elétricos com Veículos Convencionais

6.1. Custo de viagens para veículos elétricos

Nesta secção, vamos abordar o custo de três tipos de viagens (em cidade, em regime de estrada nacional e em regime de autoestrada), utilizando três carros elétricos e três carros convencionais (movidos a gásóleo ou gasolina).

A norma internacional IEC 61851 define quatro modos de carregamento possíveis para os veículos elétricos. No modo 1 (carregamento em tomada doméstica ou industrial), o carregamento consiste na utilização de uma tomada doméstica ou industrial, com uma ligação adequada e protegida. O carregamento através das tomadas domésticas utiliza até 10 A e através das industriais utiliza até 16 A, realizando-se, normalmente, num sistema monofásico que utiliza 230 V, não excedendo uma potência de 3 kW. No modo 2 (carregamento em tomada doméstica ou industrial), o carregamento consiste numa ligação a uma tomada doméstica ou industrial, com uma ligação adequada e protegida, mediante a utilização de um cabo específico fornecido pelo fabricante. Este cabo possui um EVSE, que consiste num controlador incorporado por razões de segurança, para proteger a instalação elétrica. Os EVSE podem ser incorporados em cabos, postos de carregamento ou tomadas. Este modo de carregamento pode demorar entre 8 a 12 horas. O carregamento através das tomadas domésticas utiliza até 10 A e através das industriais utiliza até 16 A, realizando-se, normalmente, num sistema monofásico que utiliza 230 V, não excedendo uma potência de 3 kW. No modo 3 (posto de carregamento normal ou lento), o carregamento consiste numa ligação entre o veículo e um posto de carregamento, através de um cabo específico que permite gerir o consumo, protegendo a instalação elétrica. Este modo de carregamento pode demorar entre 2 a 8 horas a recarregar a bateria do veículo por completo. O mais indicado é que este tipo de postos de carregamento sejam instalados em habitações ou nas instalações dos locais de trabalho, onde os veículos podem estar longos períodos a recarregar a bateria. O carregamento lento é realizado, normalmente, num sistema monofásico que utiliza 230 V, 16 A ou 32 A e uma potência de, aproximadamente, 3,6 kW ou 7,3 kW. No modo 4 (posto de carregamento rápido), o carregamento tem uma duração que varia entre os 20 e os 30 minutos para recarregar 80% da capacidade da bateria (dependendo do fabricante dos veículos e do tipo de infraestrutura utilizada, o tempo de carregamento pode chegar, no máximo, a uma hora). O mais indicado é que este tipo de postos de carregamento sejam instalados em autoestradas, onde os veículos têm períodos reduzidos de tempo para recarregar as baterias. Este tipo de carregamento deve ser evitado, e apenas utilizado esporadicamente, quando se pretende estender a autonomia do veículo durante uma viagem longa ou em caso de emergência, pois causa o envelhecimento das baterias. Este carregamento é realizado, normalmente, num sistema trifásico, que utiliza até 400 V, utiliza 32 A, 63 A ou 100 A e uma potência que varia entre 22 kW até 50 kW [11].

Em relação a custos de carregamento, o mais económico é o carregamento doméstico. Portanto, sempre que possível, o melhor será carregar o veículo em casa [12].

Considerando o carregamento dos veículos elétricos numa habitação pessoal, com um regime bi-horário e uma potência contratada de 6.90 kVA (suficiente para o carregamento de um veículo elétrico em casa), o preço base do kWh (com a empresa Endesa Portugal), no dia 17 de agosto de 2023, rondava os 0.186103 €/kWh utilizando a “energia fora de vazio” (onde o consumo de eletricidade fica mais caro, normalmente no horário diurno) e os 0.094699 €/kWh utilizando a “energia vazio” (horário onde o consumo de eletricidade fica mais económico, normalmente no horário noturno)[13]. Caso o utilizador não tivesse o regime bi-horário, possuindo então o regime normal, o preço base do kWh ficaria mais barato que utilizando a “energia fora de vazio” do regime bi-horário, mas claro, que utilizando a “energia vazio”, era a opção mais económica em relação ao regime de energia normal[14].

Seguidamente, são calculados os custos para percorrer os três trajetos referidos na secção anterior (o primeiro trajeto definindo a circulação em cidade, o segundo em estrada nacional e o terceiro em autoestrada).

O primeiro veículo elétrico, o Renault Zoe, tem uma capacidade da bateria de 55 kWh[8]. Para o primeiro trajeto, onde o SOC da bateria era de 94.04 % e a distância percorrida foi de 16.74 km, foram gastos 3.278 kWh na viagem. Se fosse feito o recarregamento da bateria em “horas fora de vazio”, teria o custo de 0.61 € e, em “horas de vazio”, teria o custo de 0.31 €. Para o segundo trajeto, onde o SOC era de 80.53 % e a distância percorrida foi de 79.93 km, foram gastos 10.7085 kWh na viagem. Se fosse feito o recarregamento da bateria em “horas fora de vazio”, teria o custo de 1.99 € e, em “horas de vazio”, teria o custo de 1.01 €. Para o último trajeto, onde o SOC da bateria era de 60.03 % e a distância percorrida foi de 232.8 km, foram gastos 21.9835 kWh na viagem. Se fosse feito o recarregamento da bateria em “horas fora de vazio”, teria o custo de 4.09 € e, em “horas de vazio”, teria o custo de 2.08 €.

O segundo veículo elétrico, o Audi Q4 e-tron, tem uma capacidade da bateria de 82 kWh[9]. Para o segundo trajeto, onde o SOC da bateria era de 95.31 % e a distância percorrida foi de 16.74 km, foram gastos 3.8458 kWh na viagem. Se fosse feito o recarregamento da bateria em “horas fora de vazio”, teria o custo de 0.72 € e, em “horas de vazio”, teria o custo de 0.36 €. Para o segundo trajeto, onde o SOC era de 83.28 % e a distância percorrida foi de 79.92 km, foram gastos 13.7104 kWh na viagem. Se fosse feito o recarregamento da bateria em “horas fora de vazio”, teria o custo de 2.55 € e, em “horas de vazio”, teria o custo de 1.30 €. Para o último trajeto, onde o SOC da bateria era de 65.27 % e a distância percorrida foi de 232.8 km, foram gastos 28.4786 kWh na viagem. Se fosse feito o recarregamento da bateria em “horas fora de vazio”, teria o custo de 5.30 € e, em “horas de vazio”, teria o custo de 2.70 €.

O terceiro veículo elétrico, o Tesla Model 3 Performance, tem uma capacidade da bateria de 75 kWh[10]. Para o primeiro trajeto, onde o SOC da bateria era de 94.84 % e a distância percorrida foi de 16.74 km, foram gastos 3.87 kWh na viagem. Se fosse feito o recarregamento da bateria em “horas fora de vazio”, teria o custo de 0.72 € e, em “horas de vazio”, teria o custo de 0.37 €. Para o segundo trajeto, onde o SOC era de 77.61 % e a distância percorrida foi de 79.92 km, foram gastos 16.7925 kWh na viagem. Se fosse feito o recarregamento da bateria em “horas fora

de vazio”, teria o custo de 3.13 € e, em “horas de vazio”, teria o custo de 1.59 €. Para o último trajeto, onde o SOC da bateria era de 52.58 % e a distância percorrida foi de 232.8 km, foram gastos 39.4425 kWh na viagem. Se fosse feito o recarregamento da bateria em “horas fora de vazio”, teria o custo de 6.62 € e, em “horas de vazio”, teria o custo de 3.37 €.

6.2. Custo de viagens para veículos convencionais

Considerando que o preço do gásóleo simples na Galp de Castelo Branco no dia 17 de agosto de 2023 era de 1.829 €/litro e da gasolina era de 1.914 €/litro, foram calculados os custos com o combustível para os três automóveis convencionais escolhidos, considerando as distâncias percorridas anteriormente referidas.

O primeiro veículo, o Renault Clio 5 TCe 90 (movido a gasolina), tem uma massa de 1276 kg, uma potência de 67 kW, uma cilindrada de 999 cm³ e uma autonomia de 976 km. Segundo o site UltimateSpecs (onde é possível encontrar as fichas técnicas de diversos veículos)[15], os consumos deste veículo em cidade são de 5.6L por 100 km percorridos, em percursos extraurbanos 3.6L/100 km e em percursos mistos 4.3L/100 km. Portanto, para percorrer 16.74 km em cidade com este automóvel, teríamos um custo médio de 1.79 €. Já para percorrer 232.8 km em autoestrada, o custo médio seria de 16.05 €.

O segundo automóvel, o Audi Q8 45 TDI Quattro (movido a gásóleo), tem uma massa de 2250 kg, uma potência de 170 kW, uma cilindrada de 2967 cm³ e uma autonomia de 1328 km. Segundo o site UltimateSpecs (onde é possível encontrar as fichas técnicas de diversos veículos)[16], os consumos deste veículo em cidade são de 7L por 100 km percorridos, em percursos extraurbanos 6.1L/100 km e em percursos mistos 6.4L/100 km. Portanto, para percorrer 16.74 km em cidade com este automóvel, teríamos um custo médio de 2.14 €. Já para percorrer 232.8 km em autoestrada, o custo médio seria de 25.97 €.

O terceiro automóvel, o BMW G30 5 Series Sedan LCI 530d (movido a gásóleo), tem uma massa de 1853 kg, uma potência de 210 kW, uma cilindrada de 2993 cm³ e uma autonomia de 1466 km. Segundo o site UltimateSpecs (onde é possível encontrar as fichas técnicas de diversos veículos)[17], os consumos deste veículo em cidade são de 5.8L por 100 km percorridos, em percursos extraurbanos 3.7L/100 km e em percursos mistos 4.5L/100 km. Portanto, para percorrer 16.74 km em cidade com este automóvel, teríamos um custo médio de 1.78 €. Já para percorrer 232.8 km em autoestrada, o custo médio seria de 15.75 €.

6.3. Análise do tipo de veículo mais económico/cómodo

De acordo com os resultados obtidos anteriormente, podemos concluir que um veículo elétrico é bastante mais económico que um veículo convencional, como é observado nas Tabelas 1,2 e 3. Esta afirmação é verdadeira quando podemos carregar o veículo em habitação própria, pois se carregarmos, o automóvel num posto de carregamento público, fica mais caro, o que não deixa de ser benéfico [12].

TABELA 1 | Custo das viagens em cidade e em autoestrada dos três veículos elétricos testados (Renault Zoe, Audi Q4 e-tron e Tesla Model 3 Performance) utilizando “energia fora de vazio”

Percurso	Cidade	Autoestrada
Zoe (EV)	0,61 €	4,09 €
Q4 (EV)	0,72 €	2,70 €
Tesla (EV)	0,72 €	6,62 €

TABELA 2 | Custo das viagens em cidade e em autoestrada dos três veículos elétricos testados (Renault Zoe, Audi Q4 e-tron e Tesla Model 3 Performance) utilizando “energia vazio”

Percurso	Cidade	Autoestrada
Zoe (EV)	0,31 €	2,08 €
Q4 (EV)	0,36 €	5,30 €
Tesla (EV)	0,37 €	3,37 €

TABELA 3 | Custo das viagens em cidade e em autoestrada dos três veículos convencionais simulados (Renault Clio, Audi Q8 e BMW 530d)

Percurso	Cidade	Autoestrada
Clio	1,79 €	16,05 €
Q8	2,14 €	25,97 €
BMW	1,78 €	15,75 €

Portanto, em termos de custos, é benéfico possuir um carro elétrico (em condução em cidade), mas sendo que o carregamento deve ser feito em casa, sempre que possível.

Posto isto, podemos colocar a seguinte questão: “e se fizermos uma viagem de mais de 500/600 km, será que era benéfico utilizar um veículo elétrico para a deslocação?”. A resposta será “depende”. Em relação aos veículos simulados, sabemos que a maior autonomia, dentro dos três veículos elétricos, é a do Tesla Model 3, que ronda os 530 km[10]. Já dentro dos veículos convencionais, a maior autonomia é a do BMW 530d, que ronda os 1466 km[17]. A autonomia de um veículo varia de acordo com o estilo de condução, portanto para fazer uma viagem longa, em regime de autoestrada, onde a velocidade de circulação é maior, esse valor vai diminuir. Assim, caso a viagem fosse realizada com o Tesla, teríamos de realizar o recarregamento da bateria num posto de carregamento público. Tendo em conta que o carregamento, em ambas as formas, necessitaria de algum tempo de viagem despendido, o que muitas vezes pode não ser possível. Então, nos dias de hoje, para realizar uma viagem longa, devido às condicionantes referidas, realizar esta viagem com um veículo elétrico pode não ser muito cómodo.

6.4. Custos de aquisição e de manutenção

Em termos de custos de aquisição, um automóvel elétrico é mais caro que um veículo convencional. Segundo o site oficial da Renault, o Renault Zoe tem um custo de aquisição a partir dos 36 250 euros [18]. Já o Renault Clio, tem um custo bastante menor, a partir dos 19 400 euros [19].

Já em relação à manutenção, um veículo elétrico tem muito menos manutenção que um veículo convencional [20].

Já no que toca no assunto das baterias, a sua substituição pode ser bastante cara (entre os 2000 e os 10.000 euros, aproximadamente) [21]. Por outro lado, mesmo quando há anomalias, nem sempre é necessário proceder à substituição total. O problema pode resolver-se com a alteração de apenas um dos módulos. Em média, a durabilidade destas baterias chega aos 15/20 anos. Este componente central dos veículos elétricos está protegido pela garantia, que geralmente chega aos 8 anos ou aos 160 mil quilómetros [22].

6.5. Custo do ISV e do IUC

Quando adquirimos um automóvel novo, é necessário o pagamento do Imposto sobre Veículos (ISV). Outro imposto que é necessário ser pago, anualmente, é o Imposto Único de Circulação (IUC). Ao adquirir um veículo elétrico, o comprador fica isento do pagamento destes dois impostos [23]. O valor do IUC para o Renault Clio é de 108,32 €, para o Audi Q8 é de 665,04 € e para o BMW 530d é 628,75 € [24].

6.6. Impacto ambiental

Um automóvel convencional produz emissões poluentes pelo cano de escape. Já um veículo elétrico não as produz durante a sua circulação. No entanto, as emissões na produção de baterias para esse tipo de carro são substanciais e, se não mitigadas, causarão impacto ambiental significativo conforme a utilização de veículos elétrica aumenta. A diminuição dos efeitos causados por essa produção está diretamente relacionada com a fonte de energia utilizada, que incide principalmente na fabricação das células da bateria [25].

Em relação às emissões da produção de energia para o carregamento, elas mudam ao longo do tempo. Por um lado, elas diminuem à medida que as fontes de energia não renováveis são substituídas por fontes de energia renováveis. Mas, ao mesmo tempo, elas vão aumentar à medida que vão ser adotados mais carros elétricos, o que leva a sucessivos carregamentos de baterias [26].

7. Conclusões

O presente estudo revela uma transformação significativa no cenário automotivo. Os veículos elétricos apareceram como uma alternativa promissora aos veículos movidos a combustíveis fósseis. Ao analisar o seu comportamento, diversas considerações são destacáveis.

Primeiramente, o custo de aquisição de um veículo elétrico é maior em relação a um veículo convencional, mas por outro lado essa aquisição está isenta do pagamento do ISC e do IUC.

Os veículos elétricos demonstram uma clara vantagem em termos de poupança nos custos de viagem (diferença significativa ao carregar o veículo na habitação pessoal). Mas por outro lado, enquanto para abastecer um veículo convencional necessitamos de alguns minutos, para carregar um veículo elétrico demoramos mais tempo (entre 1 a 10 horas no carregamento lento e entre 20 a 30 minutos no carregamento rápido). Ainda no que diz respeito às viagens, a diferença entre os dois tipos de veículos no que diz respeito a autonomia também é notória, sendo a autonomia de um EV bastante menor.

Um EV possui uma vantagem notória em relação à redução das emissões de gases de efeito de estufa e de poluição do ar, pois não possui um sistema de escape e não realiza a queima de combustíveis fósseis. Mas, a produção de energia para o carregamento e para a construção das baterias para veículos elétricos, dependendo da fonte de energia utilizada, poderá emitir gases poluentes em diversas escalas.

Concluindo, em termos de mobilidade, para condução em cidade, um veículo elétrico é uma boa solução em termos de custos de viagem. Já em termos de autonomia, abastecimento e poluição, ainda há alguns desafios a serem superados, principalmente quando os percursos são de maiores distâncias. O contínuo avanço tecnológico vai dar respostas para estes problemas num futuro próximo.

8. Referências

- [1] J. Fontainhas, “Análise da viabilidade económica da aquisição de veículos elétricos em Portugal,” p. 103, 2013, [Online]. Available: [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/27348/1/Dissertação Final - José Fontainhas.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/27348/1/Dissertação%20Final%20-%20José%20Fontainhas.pdf)
- [2] F. Santos, “A rede de Mobilidade Elétrica em Portugal – as incidências do Direito Público e Europeu na criação de um novo paradigma de mobilidade,” pp. 1–14, 2017.
- [3] A. C. F. da R. Santos, “Análise Da Viabilidade Técnica E Económica De Um Veículo Elétrico Versus Veículo a Combustão,” p. 70, 2017, [Online]. Available: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/12590>
- [4] A. V. Barbosa, “Redes de abastecimento para veículos elétricos,” *Ave.Dee.Isep.Ipp.Pt*, p. 8, 2012, [Online]. Available: [http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act_lect/SIAUT/Trabalhos 2011-12/SIAUT_2011-12_ProjetoRenaultNissan.pdf](http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act_lect/SIAUT/Trabalhos%202011-12/SIAUT_2011-12_ProjetoRenaultNissan.pdf)
- [5] T. Barlow, S. Latham, I. Mccrae, and P. Boulter, “A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions,” *TRL Publ. Proj. Rep.*, p. 280, 2009, [Online]. Available: http://www.trl.co.uk/online_store/reports_publications/trl_reports/cat_traffic_and_the_environment/report_a_reference_book_of_driving_cycles_for_use_in_the_measurement_of_road_vehicle_emissions.htm%5Chttps://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/a
- [6] S. Bhowmick, “Prototyping an Electric Vehicle in MATLAB Simulink,” pp. 1–21, 2022, [Online]. Available: <https://circuitdigest.com/article/prototyping-an-electric-vehicle-in-matlab-simulink>
- [7] M. Helper, “Electric Vehicle Simulation in Simulink.” 2021. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=ihoUyVc6sJA>
- [8] UltimateSpecs, “Renault Zoe 2020 R110 Ficha Técnica.” [Online]. Available: <https://www.ultimatespecs.com/pt/car-specs/Renault/115941/Renault-Zoe-2020-R110.html>
- [9] UltimateSpecs, “Audi Q4 e-tron 40 Specs.” [Online]. Available: <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Audi/127422/Audi-Q4-e-tron-40.html>
- [10] UltimateSpecs, “Tesla Model 3 Performance AWD Ficha Técnica.” [Online]. Available: <https://www.ultimatespecs.com/pt/car-specs/Tesla/114664/Tesla-Model-3-Performance-AWD.html>

- [11] D. S. B. dos Santos, “Estudo para a Implementação de Infraestruturas de Carregamento de Veículos Elétricos,” vol. 1, p. 125, 2015, [Online]. Available: https://run.unl.pt/bitstream/10362/16360/1/Santos_2015.pdf
- [12] B. M. R. Ferreira, “Incentivos e Barreiras à Mobilidade Elétrica em Portugal,” 2022.
- [13] Endesa Portugal, “Tarifa e - Luz Bi-horária & Gás”.
- [14] Endesa Portugal, “Tarifa e - Luz & Gás”.
- [15] UltimateSpecs, “Renault Clio 5 TCe 90 Ficha Técnica.” [Online]. Available: <https://www.ultimatespecs.com/pt/car-specs/Renault/122535/Renault-Clio-5-TCe-90.html>
- [16] UltimateSpecs, “Audi Q8 45 TDI Quattro Ficha Técnica.” [Online]. Available: <https://www.ultimatespecs.com/pt/car-specs/Audi/115998/Audi-Q8-45-TDI-Quattro.html>
- [17] UltimateSpecs, “BMW G30 5 Series Sedan LCI 530d Ficha Técnica.” [Online]. Available: <https://www.ultimatespecs.com/pt/car-specs/BMW/119591/2022-BMW-G30-5-Series-Sedan-LCI-530d.html>
- [18] Renault, “Renault Zoe E-Tech 100% Elétrico Equilibrado.” [Online]. Available: <https://www.renault.pt/veiculos-eletricos/zoe/configurador.html>
- [19] Renault, “Encontrar a minha configuração.” [Online]. Available: <https://www.renault.pt/veiculos-hibridos/clio-e-tech-full-hybrid/configurador.html>
- [20] E. Almeida Pereira, J. Gomez, A. Souza, and F. Arruda, “Análise comparativa dos custos dos veículos de combustão interna e veículos elétricos: estudo de caso dos correios,” *XXIX Congr. Nac. Pesqui. em Transp. da ANPET*, vol. 21, pp. 2225–2235, 2015, [Online]. Available: http://146.164.5.73:20080/ssat/interface/content/anais_2015/TrabalhosFormatados/798AC.pdf
- [21] A. Aguiar, “Quanto custa trocar a bateria de um carro elétrico?” [Online]. Available: <https://www.e-konomista.pt/trocar-bateria-carro-eletrico/>
- [22] ACP, “Custos de manutenção de carros elétricos VS carros de combustão.” [Online]. Available: <https://www.acp.pt/eletricos/tudo-sobre-eletricos/manutencao-de-um-eletrico/detalhe/custos-de-manutencao-de-carros-eletricos-vs-carros-de-combustao>
- [23] S. Almeida, “Perceção do consumidor sobre mobilidade elétrica : Caso dos veículos elétricos,” 2020, [Online]. Available: <https://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/32118>
- [24] “Imposto Sobre Veículos.” [Online]. Available:

<https://impostosobreveiculos.info/iuc/simulador-iuc/>

- [25] F. T. M. C. JULIA M. MASSARELI COSTA, “Emissões de Poluentes na Produção de Veículos Convencionais e Elétricos,” pp. 1–7, 2008.
- [26] A. Jenn, “Emissions of electric vehicles in California’s transition to carbon neutrality,” *Appl. Energy*, vol. 339, no. September 2022, p. 120974, 2023, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.120974.