

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Avaliação do impacto da introdução de cargas auxiliares na
autonomia de veículos elétricos**

Filipe Miguel Ribeiro da Fonseca

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e Ambiente

Dissertação orientada sob a supervisão de:

Orientador: Prof.^a Dra. Carla Silva (FCUL)

Co-orientador: Prof. Dr. Pedro Nunes (FCUL)

2018

Resumo

A mobilidade elétrica oferece a possibilidade de reduzir as necessidades petrolíferas no setor dos transportes. Na realidade, estudos comprovam que a alteração de veículos movidos a combustíveis fósseis para veículos híbridos ou elétricos, conduziria a uma menor dependência petrolífera assim como a um menor nível de agentes poluentes. Para tal, é necessário o desenvolvimento de investigação no sentido de aumentar a capacidade das baterias, melhorando a autonomia dos veículos elétricos em situações reais. Utilizando o *software* de simulação de consumo energético e emissões de veículos ADVISOR – ADvanced VehIcle SimulatOR, foi desenvolvido um veículo elétrico com características semelhantes ao do Nissan Leaf 2013. Após a calibração do veículo, foram realizados testes visando determinar a influência da temperatura exterior e do ar condicionado na autonomia e consumo do veículo elétrico. As simulações desenvolvidas consideraram diversos ciclos de condução europeus e americanos, entre eles, o *New European Driving Cycle* (NEDC), o *World harmonized Light vehicles Test Procedures* (WLTP), o *Supplemental Federal Test Procedure* (SC03), o *Supplemental Federal Test Procedure* (US06), o *Urban Dynamometer Driving Schedule* (UDDS) e o *Highway Fuel Economy Driving Schedule* (HWFET). Os resultados obtidos foram comparados com os resultados publicados na literatura e concluíram que, a variação da temperatura exterior não é um fator determinante na diminuição da autonomia e no aumento do consumo energético, influenciando-o apenas entre, aproximadamente, 1% a 3%. No entanto, verificou-se que após a introdução de cargas auxiliares extras, como ar condicionado, a autonomia reduz consideravelmente, entre os 20% e os 44%, dependendo do ciclo de condução. As diferenças encontradas neste estudo foram superiores no caso dos ciclos urbanos. O novo ciclo europeu recentemente introduzido, WLTP, registou valores inferiores no decréscimo da autonomia e aumento do consumo energético em relação ao ciclo atualmente utilizado, o NEDC.

Palavras-Chave: Veículos Elétricos, Ar Condicionado, Autonomia, ADVISOR.

Abstract

Electrical mobility offers the possibility of reducing oil needs in the transport sector. In fact, studies have shown that the change of vehicles powered by fossil fuels for hybrid or electric vehicles would lead to less oil dependence as well as a lower level of pollutants. To do this, research needs to be done to increase the capacity of the batteries by improving the range of these electric vehicles in real life situations. Using a vehicle emission and energy simulation software, ADVISOR – Advanced Vehicle Simulator, an electric vehicle with similar characteristics to the Nissan Leaf 2013 was developed. After the calibration of the vehicle, tests were carried out to determine the influence of temperature and air conditioning on the range and consumption of the vehicle created. These tests considered several European and American driving cycles, including the New European Driving Cycle (NEDC), the World Harmonized Light Vehicle Test Procedures (WLTP), the Supplemental Federal Test Procedure (SC03), the Supplemental Federal Test Procedure (US06), the Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) and the Highway Fuel Economy Driving Schedule (HWFET). The results obtained were compared with the published results in the literature and it was concluded that, the temperature variation of the external temperature is not a determinant factor in the reduction of the range of the vehicle, influencing it only between approximately 1% to 3%. However, it was determined that after the introduction of extra auxiliary loads the range of the vehicle reduced considerably, between 20% and 44% depending on the driving cycle. The differences found were higher in the case of urban cycles. The new European cycle to be introduced, WLTP, registered lower values in the decrease of the range and in the increase of the energy consumption in relation to the cycle currently used, the NEDC.

Keywords: Electric Vehicles, Air Conditioning, Range, ADVISOR.

Índice

| | |
|--|-----------|
| Resumo..... | 2 |
| Abstract..... | 3 |
| Índice de gráficos | vi |
| Índice de Tabelas..... | vii |
| Agradecimentos..... | viii |
| Simbologia e Notações..... | ix |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1 História dos Veículos Elétricos | 4 |
| 1.2 Objetivos | 6 |
| 1.3 Organização da Tese | 7 |
| 2 Estado da Arte..... | 8 |
| 2.1 Software de Simulação..... | 8 |
| 2.2 Casos de Estudo | 10 |
| 2.2.1 AVL CRUISE com interface KULI..... | 10 |
| 2.2.2 FleetCarma..... | 10 |
| 3 Metodologia | 12 |
| 3.1 Software Selecionado - ADVISOR..... | 13 |
| 3.2 Ciclos de Condução | 17 |
| 3.2.1 Ciclos Americanos | 17 |
| 3.2.2 Ciclos Europeus | 22 |
| 3.3 Especificações do carro elétrico..... | 26 |
| 3.4 Validação do Software | 28 |
| 3.4.1 Calibração do Veículo | 28 |
| 3.5 Veículo Simulado..... | 32 |
| 4 Resultados e Discussão..... | 33 |
| 4.1 Ciclos Europeus | 33 |
| 4.2 Ciclos Americanos | 35 |
| 4.3 Ciclos Complementares..... | 37 |
| 4.4 Comparação de Resultados..... | 39 |
| 5 Conclusão..... | 40 |
| 6 Desenvolvimentos Futuros..... | 41 |
| 7 Referências Bibliográficas | 42 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Procura de petróleo a nível mundial.[1] | 1 |
| Figura 2 - Consumo (linha amarela) vs Produção (linha cinzenta) de petróleo [4]. | 2 |
| Figura 3 – Um dos primeiros carros elétricos - Wood’s Electric Phaeton 1902[12] | 4 |
| Figura 4 - Integração dos modelos [20][22]. | 9 |
| Figura 5 - Resultados obtidos AVL Cruise com interface KULI [21]. | 10 |
| Figura 6 - Dados recolhidos FleetCarma - Nissan Leaf: Cargas Extra vs Temperatura. | 11 |
| Figura 7 - Janela de início do programa ADVISOR v.2003 [25]. | 13 |
| Figura 8 - Janela de introdução de dados sobre o veículo [25]. | 14 |
| Figura 9 - Janela com a seleção do ciclo de condução – Velocidade (km/h) vs Tempo(s)[25]. .. | 15 |
| Figura 10 – Outputs instantâneos do programa. | 15 |
| Figura 11 - Outputs médios do programa. | 16 |
| Figura 12 - Diagrama de motor Nissan Leaf 2013 [34]. | 27 |
| Figura 13 - Calibração do Veículo [25]. | 28 |

Índice de gráficos

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Urban Dynamometer Driving Schedule (FTP-72) [9]. | 17 |
| Gráfico 2 - Urban Dynamometer Driving Schedule (FTP-75) [9]. | 18 |
| Gráfico 3 - Supplemental Federal Test Procedure (SFTP) - US06 [9]. | 19 |
| Gráfico 4 - Supplemental Federal Test Procedure (SFTP) - SC03 [9]. | 20 |
| Gráfico 5 - Highway Fuel Economy Test (HWFET) [9]. | 20 |
| Gráfico 6 - Urban Driving Cycle ECE-15 (UDC ECE-15) [9]. | 22 |
| Gráfico 7 - Extra-Urban Driving Cycle (EUDC) [9]. | 23 |
| Gráfico 8 - New European Driving Cycle (NEDC) [9]. | 24 |
| Gráfico 9 - Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP) [9]. | 24 |
| Gráfico 10 - Consumo energético Nissan Leaf. | 30 |
| Gráfico 11 - Consumo energético Tesla Roadster [38]. | 31 |
| Gráfico 12 - Cargas adicionais médias Nissan Leaf. | 32 |
| Gráfico 13 - Autonomia Ciclos Europeus. | 34 |
| Gráfico 14 - Autonomia Ciclos Americanos. | 36 |
| Gráfico 15 - Autonomia Ciclos Complementares. | 38 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Características do ciclo UDC ECE-15/EUDC/NEDC..... | 23 |
| Tabela 2 - Características ciclo WLTP..... | 25 |
| Tabela 3 - Especificações Nissan Leaf 2013 [31], [32]..... | 26 |
| Tabela 4 - Calibração Veículo - Ciclo NEDC..... | 28 |
| Tabela 5 - Valores do consumo energético Nissan Leaf (Simulado vs Real). | 29 |
| Tabela 6 - Ciclos Europeus sem AC..... | 33 |
| Tabela 7 - Ciclos Europeus com AC..... | 34 |
| Tabela 8 - Ciclos Americanos sem AC..... | 35 |
| Tabela 9 - Ciclos Americanos com AC..... | 36 |
| Tabela 10 - Ciclos Complementares sem AC..... | 37 |
| Tabela 11 - Ciclos Complementares com AC..... | 37 |
| Tabela 12 - Comparação Resultados AVL CRUISE vs ADVISOR..... | 39 |

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha família mais chegada, a minha mãe e o meu irmão, por todo o carinho e apoio incondicional que me deram durante todo o meu percurso. Estiveram sempre ao meu lado, mostrando-se inúmeras vezes disponíveis e interessados a ajudar-me no que fosse necessário. Gostaria ainda de agradecer à minha restante família pela presença constante durante todo o meu percurso académico.

À Catarina por ter sido o meu porto de abrigo durante todos estes anos. Por todos os momentos de apoio, ajuda, aprendizagem, conhecimento e incentivo que me levaram a atingir este objetivo. Por ser a pessoa com quem irei sempre contar, e que poderá sempre contar comigo. Que a nossa jornada esteja apenas no início.

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Professora Doutora Carla Silva e Professor Doutor Pedro Nunes, por todo auxílio prestado durante o decorrer desta dissertação. Por toda a disponibilidade e paciência demonstrada, por todas as sugestões, críticas e opiniões que me ajudaram a desenvolver esta dissertação.

Ao Agrupamento 412 do Corpo Nacional de Escutas por me albergarem dentro das suas instalações para que pudesse elaborar esta dissertação, bem como por proporcionarem-me diversos momentos de descontração, amizade e partilha.

Aos meus amigos de faculdade, que me ajudaram nos momentos mais exigentes e que partilharam comigo inúmeras experiências, resultando em fortes amizades e companheirismo.

Aos meus amigos de longa data, que sempre me apoiaram mesmo nas nossas divergências. Com o tempo aprendemos que a distância faz valorizar a nossa amizade.

A todos vocês, um muito obrigado.

Simbologia e Notações

| | |
|-----------------------|--|
| A/C | Ar Condicionado |
| ADVISOR | ADvanced VehIcle SimulatOR |
| CO | Monóxido de Carbono |
| EPA | Environmental Protection Agency of United States |
| EUDC | Extra Urban Driving Cycle |
| HC | Hidrocarbonetos |
| HWFET | Highway Fuel Economy Driving Schedule |
| NEDC | New European Driving Cycle |
| NO_x | Óxidos de Azoto |
| NREL | National Renewable Energy Laboratory |
| SC03 | Supplemental Federal Test Procedure |
| UDC | Urban Driving Cycles |
| UDDS | Urban Dynamometer Driving Schedule |
| US06 | Supplemental Federal Test Procedure |
| WLTP | Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure |

1. Introdução

Nos últimos 50 anos tem sido observado um aumento do consumo de petróleo a nível mundial [Figura 2] sendo que, um dos principais contribuidores para esta tendência, é o setor dos transportes rodoviários [Figura 1].

O aumento do consumo petrolífero deve-se, maioritariamente, ao grande desenvolvimento industrial e tecnológico da última metade do século XX.

Ainda que as necessidades energéticas tenham várias origens, o setor dos transportes evidencia-se, consumindo aproximadamente 56% da quantidade de petróleo produzido mundialmente. A indústria contribui com 28% e a energia com 5%. Outros setores contabilizam 11% da procura de petróleo a nível mundial. Se considerarmos o setor de transportes, 20% da procura de petróleo advém dos veículos ligeiros [Figura 1].

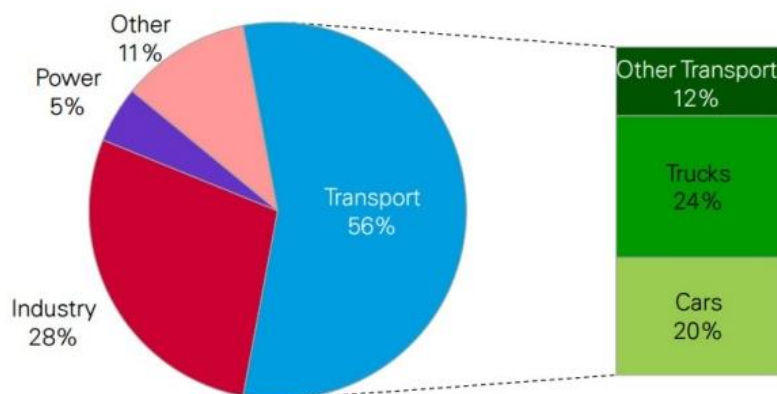


Figura 1 – Procura de petróleo a nível mundial.[1]

Em 2016, de acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), foi estimado que seriam necessários cerca de 96 milhões de barris de petróleo por dia para satisfazer a procura mundial, valores que se traduzem em cerca de 35 mil milhões de barris por ano [2].

A Figura 2 representa a dificuldade de acompanhar a nível de produção, o consumo exigido pelas atuais necessidades energéticas. De acordo com o relatório “BP Statistical Review of World Energie, June 2017” desenvolvido anualmente pela British Petroleum, as diferenças encontradas entre os valores de produção e consumo de petróleo a nível mundial são explicadas essencialmente por diferenças de *stock*, consumo de aditivos não petrolíferos e disparidades inevitáveis na definição, medição ou conversão dos dados recolhidos [3].

Estudos realizados com o intuito de determinar a longevidade das reservas mundiais de petróleo, contabilizando a taxa de descoberta de novas reservas *versus* o consumo de petróleo mundial, estabeleceram que na década entre 2050-2060 cessaria de existir petróleo disponível para a satisfação das necessidades diárias petrolíferas [3].

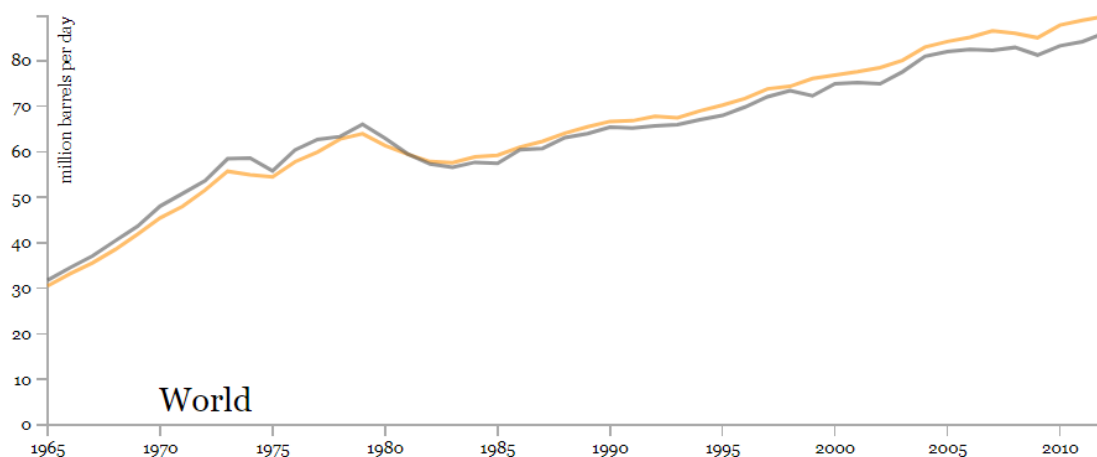


Figura 2 - Consumo (linha amarela) vs Produção (linha cinzenta) de petróleo [4].

A utilização do petróleo como principal fonte de energia deve-se essencialmente da necessidade dos veículos com motores de combustão interna. Admitindo que a evolução nos veículos permitiu uma grande evolução das sociedades como nunca antes tinha sido possível, também contribuiu para a crescente poluição nos centros urbanos.

A realidade da utilização excessiva de combustíveis fósseis e da dependência petrolífera resultou inerentemente em consequências que se sentem atualmente, como o aumento da temperatura a nível global. Existem diversas práticas, como o acordos de Paris [5], a entrar em fase de execução, com o objetivo de diminuir consideravelmente o número de veículos de combustão interna nos grandes centros urbanos. Países como a França e Grã-Bretanha expressaram a sua meta de abolir carros de combustão até 2040 [6], procurando substituir toda a sua frota pública e privada por veículos movidos por soluções mais sustentáveis.

Desta forma, os veículos elétricos apresentam-se como uma solução real para a atual problemática uma vez que, para a sua utilização, não é necessário a utilização de compostos petrolíferos (eventualmente só a montante). Adicionalmente, estes veículos, não libertam qualquer tipo de emissões poluentes aquando da sua condução.

A energia solar constitui a energia renovável mais promissora de todas, visto ser virtualmente infinita. Em diversos estudos, foi aferido que uma hora de incidência solar no globo terrestre equivale a todas as necessidades energéticas a nível mundial [7].

Uma vez que um dos principais obstáculos à utilização de energia solar, consiste na sua conversão e armazenamento, dispõe-se aqui de uma oportunidade de fazer um grande investimento no setor automóvel elétrico. Através de uma vasta reestruturação urbanística e planeamento sustentável, as cidades poderão investir em painéis fotovoltaicos e aproveitar os edifícios para converter a energia solar. Seria então necessário instalar nos diversos parques existentes postos de carregamento rápidos para que seja possível reduzir a dependência petrolífera ao nível dos transportes [8].

O estilo de condução na cidade baseia-se essencialmente em viagens curtas, com grandes alterações de velocidade e muitas paragens. Deste modo, o carro elétrico enquadra-se como uma possibilidade de melhorar a qualidade de vida cidadina como resultado da diminuição da poluição ambiental e sonora.

Atualmente, procura-se aumentar celeremente a autonomia dos carros elétricos para que estes possam atrair cada vez mais público à sua utilização. Apesar de, continuamente se atingirem recordes de autonomia em condições controladas, a autonomia de um carro elétrico de gama média ainda ronda entre os 150 km a 200 km [9].

As baterias elétricas constituem um dos principais componentes dos veículos elétricos, como tal é necessário existir uma grande investigação com o intuito de melhorar e aumentar a capacidade das mesmas. Alguns dos desafios a nível das baterias atualmente prende-se pelo fato da sua eficiência para temperaturas extremas, os seus ciclos de vida e custo de fabrico ou substituição [10] [11].

1.1 História dos Veículos Elétricos

É difícil associar a invenção dos veículos elétricos a uma determinada entidade, pessoa ou país. No entanto, diversas descobertas e invenções, desde a bateria ao motor elétrico, conduziram ao desenvolvimento do carro elétrico.

Um dos primeiros veículos elétricos foi construído por Gustave Trouvé em 1881, e consistia num triciclo alimentado por baterias chumbo-ácidas. Contudo, não foi o incentivo suficiente para atrair a população a abandonar o meio de transporte predominante da altura, as carruagens movidas por tração animal.

Ainda assim, nos primórdios da evolução dos automóveis, os veículos elétricos conseguiam competir diretamente com os veículos movidos por combustíveis fósseis. Nessa altura, devido ao fato de não existirem necessidades de se percorrerem grandes distâncias, a autonomia dos veículos elétricos era considerada suficiente. No entanto, à medida que as estradas se tornaram melhores a nível de pavimentação começou a surgir a inevitabilidade de se realizarem maiores deslocamentos, o que causou uma preferência pelos veículos movidos a gasolina devido à sua autonomia superior.

O primeiro veículo elétrico comercial foi criado pela *Morris and Salom's Electroboat*, que funcionava como táxi em Nova Iorque. Em 1902 foi lançado o *Wood's Electric Phaeton*, um dos primeiros veículos elétricos a ser comercializado com uma autonomia de cerca de 30 km. Posteriormente, através do contributo do francês *M. A. Darracq* foi inventada a travagem regenerativa em 1897. Esta característica permitiu transformar energia cinética em energia elétrica, aproveitando assim os momentos de travagem para recuperar alguma da energia despendida durante o seu deslocamento e recarregar parcialmente as baterias, levando a um aumento significativo da autonomia do veículo.



Figura 3 – Um dos primeiros carros elétricos - *Wood's Electric Phaeton* 1902[12].

À medida que os veículos a gasolina progrediam para modelos com maiores potências e uma maior flexibilidade de manuseamento, os veículos elétricos começaram tendencialmente a desaparecer. O *Ford Model T*, foi indubitavelmente uma das principais causas para o arranque

dos veículos a gasolina. O seu preço era cerca de 1/3 do valor de um veículo elétrico tornando aqueles uma opção mais viável. [13] [14].

Durante cerca de 30 anos, a investigação sobre baterias elétricas para veículos foi praticamente inexistente, pelo que a evolução dos veículos elétricos estagnou e não foram realizados avanços científicos significativos na área.[13][12]

Na década de 1970, múltiplas preocupações ambientais impulsionaram novas pesquisas no setor dos automóveis elétricos. No entanto, os pequenos avanços não conseguiram acompanhar os resultados obtidos pelos veículos a gasolina, nomeadamente ao nível da autonomia e da *performance* [15].

Recentemente, a indústria automobilística tem revelado um interesse acrescido no desenvolvimento e comercialização de veículos elétricos demonstrado pelas iniciativas de diversas empresas da introdução de veículos elétricos nas suas frotas. Em 2000, o lançamento a nível global do *Toyota Prius* serviu como ponto de viragem relativamente à preocupação da utilização do tipo de combustível dos veículos. Este veículo arrebatou o mercado sendo o híbrido mais vendido até aos dias de hoje. Um veículo híbrido possui pelo menos duas fontes de energia, que no caso do Toyota Prius consiste num motor elétrico e um motor de combustão interna [16] [17]. Mais tarde, uma pequena companhia sediada em *Silicon Valley*, *Tesla Motors*, apresentava um modelo que permitia fazer cerca de 300 km com apenas um carregamento. Após este anúncio, a indústria verificou um aumento da manufatura de veículos elétricos resultando em modelos como o Nissan Leaf e o Chevrolet Volt [18].

Atualmente, diversos modelos de veículos movidos a gasóleo ou gasolina possuem versões híbridas que lhes permite estender a sua autonomia. Contudo, os veículos elétricos ainda enfrentam atualmente o desafio da facilidade do seu carregamento, resultado da distribuição limitada de postos de carregamento, assim como a rapidez do carregamento. Outro desafio associado aos veículos elétricos deve-se ao fato de estes possuírem autonomias reduzidas para a maioria dos condutores. Usualmente, as autonomias apresentadas pelos fabricantes não consideram a utilização de ar condicionado ou qualquer outra carga extra que possa diminuir a autonomia final do veículo.

É difícil prever quais os desenvolvimentos futuros no mercado dos veículos elétricos, não obstante que os veículos elétricos apresentam um enorme potencial para o desenvolvimento de um futuro mais sustentável [19]. Foi estimado que nos Estados Unidos da América, se existisse alteração total da frota de combustíveis fósseis para híbridos e veículos elétricos, seria registada uma diminuição entre 30-60% da dependência do petróleo, e ainda uma redução de cerca de 20% a nível de agentes poluentes [13].

1.2 Objetivos

O objetivo da presente dissertação é analisar o impacto da utilização de ar condicionado na autonomia de veículos rodoviários ligeiros elétricos.

Irá ser utilizada, como principal ferramenta de análise, o *software* de simulação de *performance* de veículos rodoviários, ADVISOR, no qual serão realizadas diversas simulações que visam analisar e comparar o comportamento do veículo idealizado à alteração de variáveis específicas. Variáveis como a temperatura ambiente exterior; a velocidade instantânea; diferentes ciclos de condução e o ar condicionado ON/OFF irão ser analisadas no decorrer do presente estudo.

Inicialmente, procurar-se-á introduzir um veículo elétrico baseado no Nissan Leaf 2013, no *software* ADVISOR, com a informação disponível na literatura sobre as características do mesmo. Após essa fase, será calibrado o veículo no *software*, visando corresponder às informações disponibilizadas pela marca para resultados sem a utilização de ar condicionado.

Com a realização de diversas simulações, visa-se compreender o impacto das variáveis em estudo na autonomia e no consumo energético e identificar a discrepância face às autonomias indicadas pela marca para os ciclos de condução *standard* Europeus e Americanos.

1.3 Organização da Tese

A presente tese está organizada em 6 capítulos principais:

No primeiro capítulo, introduz-se a temática da dissertação, apresentando-se as principais ideias e desenvolvimentos sobre a história dos veículos elétricos, presentes na literatura. Neste capítulo definem-se ainda os objetivos previstos para a dissertação.

No capítulo 2 avalia-se o nível de estado de arte em que nos encontramos na atualidade. Apresentam-se ainda os diferentes métodos existentes para analisar a *performance* de veículos elétricos com recurso a *software* ou testes físicos.

Seguidamente, no capítulo 3, é introduzida a metodologia utilizada para o desenvolvimento da tese, onde se clarifica o percurso realizado desde a escolha do *software* de testes, a definição do veículo de teste, as simulações no *software* e a sua respetiva validação.

No capítulo 4 apresentam-se os resultados obtidos nas simulações realizadas.

No capítulo 5, identificam-se conclusões alusivas às simulações realizadas e em comparação com as prestações reais.

No capítulo 6 são introduzidas considerações sobre desenvolvimentos futuros para a presente temática.

2 Estado da Arte

2.1 Software de Simulação

Para a avaliação da *performance* de veículos, como o consumo final, aceleração dos 0-100 km/h, velocidade máxima, estado de carga da bateria, através da análise de consumo de combustível e emissão de poluentes, foram desenvolvidos diversos modelos de simulação. Da literatura, é possível destacar três modelos de simulação de tráfego existentes [20]:

1. Modelos macroscópicos;
2. Modelos mesoscópicos;
3. Modelos microscópicos.

Os modelos macroscópicos reproduzem o comportamento do tráfego como uma corrente. Nesta abordagem, é considerado o tráfego como um meio contínuo e são aplicadas leis da hidrodinâmica. Este tipo de modelo, devido às suas características inerentes, é geralmente utilizado em grandes densidades de tráfego [20].

O modelo MOBILE insere-se na categoria de modelo macroscópico. Foi desenvolvido no âmbito do programa US EPA (United States Environmental Protection Agency) e corresponde a um modelo de simulação ideal para a análise da emissão de poluentes de determinada região em determinado intervalo de tempo. Os modelos desta natureza, baseiam-se nas velocidades e distâncias percorridas médias dos veículos mediante a sua categoria. Na Europa, utiliza-se um modelo semelhante para análise de grandes frotas de automóveis, o modelo COPERT (Computer Programme to estimate Emissions from Road Traffic) que utiliza a velocidade média para conseguir estimar o consumo e as emissões de poluentes [20].

Os modelos microscópicos trabalham em escalas mais pequenas, sendo os modelos mais indicados para analisar um veículo de forma independente, considerando a sua velocidade e aceleração no tempo. Entre os diversos modelos microscópicos, é possível destacar o modelo VeTESS, o modelo AVL CruiseTM e o modelo ADVISOR [20].

Em primeiro lugar, o modelo microscópico VeTESS (Vehicle Transient Emissions Simulation Software), integra o projeto Europeu DECADE e foi desenvolvido com o intuito de simular o consumo e emissão de poluentes dos veículos. No entanto, apenas permite a simulação dos veículos previamente definidos pelo programa, pelo que não possibilita alterações.

Por sua vez, o modelo AVL CruiseTM, é um *software* desenvolvido pela AVL Powertrain Engineering e é atualmente um dos maiores serviços de simulação e desenvolvimento de todos os componentes dos veículos (transmissão, caixa de velocidades, motores de combustão interna) utilizado. A AVL possui ainda múltiplos *softwares* independentes que permitem simular e realizar testes específicos a diferentes componentes do veículo, como por exemplo ao sistema de propulsão aos motores, entre outros. É um programa desenvolvido em Python.

Utilizando o modelo AVL CruiseTM integrado com a interface KULI, foi desenvolvido um estudo de dissertação tendo como principal objetivo a simulação da utilização de ar condicionado, com o intuito de identificar a sua influência no consumo e autonomia dos veículos elétricos [21]. Os principais resultados deste estudo encontram-se detalhados na secção 2.2.1.

Finalmente, o modelo ADVISOR (ADvanced VehIcle SimulatOR) é um *software* proprietário, desenvolvido pela NREL (National Renewable Energy Laboratory) em 1994, que funciona através da linguagem de programação de Matlab/Simulink da MathWorks,inc. Também se encontra incluído na categoria dos modelos microscópicos [20].

Em último lugar, os modelos mesoscópicos são modelos combinados que permitem ambas as situações conforme a conveniência, como o modelo MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator) que, pretende substituir o modelo MOBILE descrito anteriormente. Este modelo foi também desenvolvido pela USA EPA e possibilita prever o consumo de combustível e as emissões a nível local, regional ou nacional. Desta forma, este novo modelo irá permitir realizar análises em diversas vertentes, macroscópicas, mesoscópicas e microscópicas.

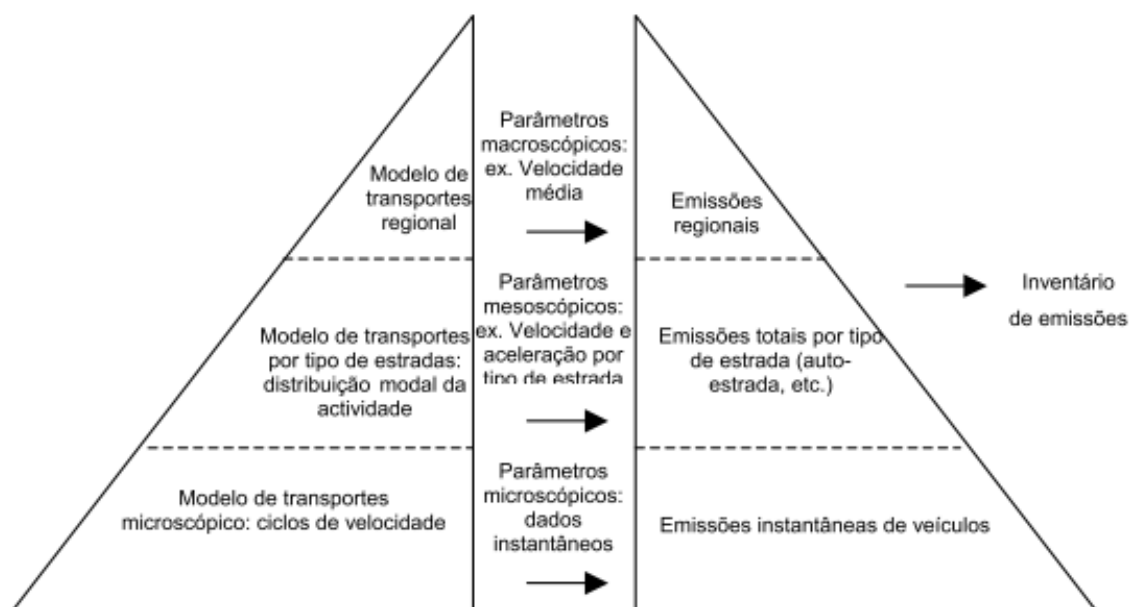


Figura 4 - Integração dos modelos [20][22].

Os diferentes tipos de *inputs*, possuem distintas finalidades, como é possível comprovar na Figura 4.

Um modelo microscópico analisa os ciclos de velocidades dos veículos e estima as suas emissões instantâneas. O modelo mesoscópico permite uma análise de frota superior, sendo muito utilizados no cálculo das emissões pelo tipo de estradas. Por sua vez, na análise macroscópica, pode ser estimado os valores de uma região inteira através de dados como a velocidade média de todos os veículos dessa região.

2.2 Casos de Estudo

2.2.1 AVL CRUISE com interface KULI

Na dissertação “Simulation and Evaluation of the Air Conditioning system in electric vehicles Nissan Leaf as a case study October 2017” [21] que tinha como principal objetivo avaliar a diminuição da autonomia com a introdução de ar condicionado para determinadas temperaturas, foi utilizado o *software* AVL Cruise descrito na secção 2.1, e com a interface Kuli, permitindo a introdução de ar condicionado na análise [21].

Os principais resultados obtidos do estudo da diminuição da autonomia em diferentes ciclos, estão apresentados na Figura 5:

| Driving Schedule | Range without A/C [km] | Range with A/C [km] | Difference [%] |
|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| <i>NEDC</i> | 152 | 121 | 20.4 |
| <i>UDDS</i> | 174 | 130.2 | 25.2 |
| <i>HWFET</i> | 150.9 | 132.6 | 12.4 |
| <i>US06</i> | 120.2 | 97.4 | 19 |
| <i>SC03</i> | - | 125.2 | - |
| <i>WLTC</i> | 142 | 118.7 | 16.4 |

Figura 5 - Resultados obtidos AVL Cruise com interface KULI [21].

O estudo permitiu concluir que o ar condicionado afeta maioritariamente os ciclos urbanos, nomeadamente os ciclos NEDC e UDDS.

Apesar de a autonomia sem a introdução de ar condicionado considerar uma temperatura exterior ambiente de 22°C e a autonomia com ar condicionado considerar uma temperatura extrema de 35°C, os resultados sugerem que os sistemas de ar condicionado podem reduzir a autonomia de um veículo elétrico entre 12% a 25% [21].

2.2.2 FleetCarma

A *FleetCarma* é uma empresa americana dedicada a análise da performance de veículos elétricos realizando testes em situações reais. Um estudo realizado pela *FleetCarma* permitiu medir e recolher dados da quantidade de potência adicional, nomeadamente a utilização de ar condicionado, numa gama de temperaturas entre os -12°C e 35°C. Para o desenvolvimento deste estudo, foram realizadas 7375 viagens onde, para as diversas temperaturas, foram retirados os valores correspondentes às cargas auxiliares médias.

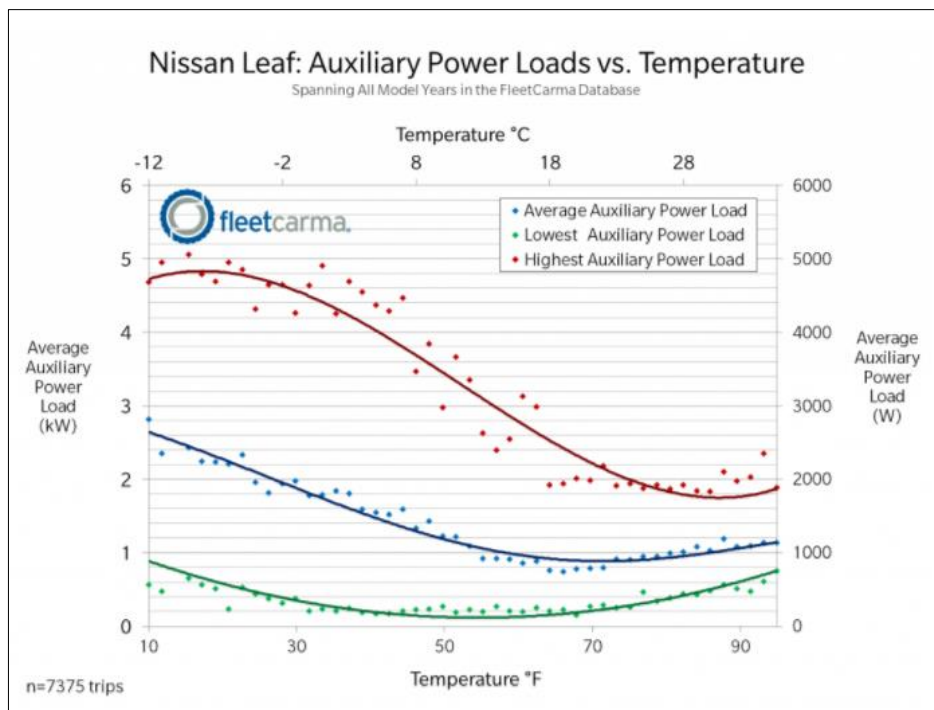


Figura 6 - Dados recolhidos FleetCarma - Nissan Leaf: Cargas Extra vs Temperatura.

Não sendo possível especificar o valor que o ar condicionado toma unicamente como carga adicional para as diferentes temperaturas, assume-se todos os diferentes tipos de cargas auxiliares. Neste contexto, considera-se como cargas auxiliares o ar condicionado; faróis de luz; direção assistida; rádio; carregadores USB e outros fatores.

Foi concluído neste estudo que o aumento necessário de potência para conseguir regular a temperatura do habitáculo do veículo aliado a uma diminuição das eficiências dos componentes têm como resultado a diminuição da autonomia do veículo.

3 Metodologia

A metodologia utilizada para a realização deste estudo comparativo, irá ter como base a utilização de *software* proprietário de simulação para a análise do sistema de um veículo elétrico. Este tipo de *software* permite analisar variáveis como o consumo do veículo, emissões provenientes da condução bem como análises às prestações do veículo.

Nesta simulação irá ser introduzido valores referentes ao veículo, e ainda valores da temperatura ambiente alusivos a uma cenário real. Neste contexto, existem diversas variáveis preponderantes tais como o peso do veículo, o coeficiente de atrito, a suspensão, a capacidade da bateria, as características dos pneus, o consumo do motor, a densidade do ar, a temperatura exterior e os ciclos de condução.

O *software* escolhido possui diversas configurações para diferentes veículos, especialmente veículos de combustão interna. No caso de uma configuração elétrica, existe apenas um modelo base, pelo que todos os *inputs* previamente mencionados deverão ser manualmente alterados e ajustados, de forma a conseguir atingir o resultado mais semelhante ao veículo real.

A modelação e testes ao veículo serão realizadas em duas fases distintas. Inicialmente será introduzida toda a informação relativa a todas as variáveis descritivas do veículo no *software* sem qualquer consideração de nenhuma carga elétrica auxiliar, tal como nos testes realizados pelas marcas.

Posteriormente, serão introduzido múltiplos valores de potência referentes às cargas elétricas extra que são impostas à bateria quando é utilizado componentes como o rádio, os sinais de troca de via, as luzes mas especialmente, o ar condicionado.

Os testes físicos realizados são executados em banco de rolos e seguem um conjunto de regras específicas, de modo a cumprir determinados ciclos de condução. Estes ciclos detêm certas particularidades descritas na secção 3.2. No entanto, utilizar-se-ão estes ciclos para conseguir analisar e comparar os resultados obtidos nos testes reais com os resultados obtidos na simulação.

3.1 Software Selecionado - ADVISOR

Para o presente estudo, pretende-se que o *software* permita simular ciclos de velocidade específicos e permita alterar os auxiliares do sistema de propulsão. Assim, intenciona-se um nível de simulação microscópica.

Desta forma, para a realização dos diferentes testes, foi selecionado o *software* ADVISOR devido à multiplicidade de opções que o *software* disponibiliza para análise. Ainda, o ADVISOR constitui um dos poucos modelos de simulação que consideram veículos elétricos nas suas configurações.

Como referido anteriormente, o *software* ADVISOR corre sob o programa da MathWorks Matlab 6.1 aliado ao Simulink 4.1 pelo que é necessários ambos os programas para que o *software* consiga funcionar corretamente [23].

Para simular um veículo que não esteja inserido na base de dados do programa é necessário a introdução manual dos diferentes *inputs* registados em testes de banco de rolos, ou a alteração dos ficheiros referentes à potência do motor, transmissão, carroçaria, peso, entre outros; na qual o programa re-escala os mapas de consumo e emissões conforme seja requisitado [24].

A Figura 7 ilustra a janela inicial do programa onde se pode definir as unidades preferenciais de análise, bem como o menu de ajuda do programa.

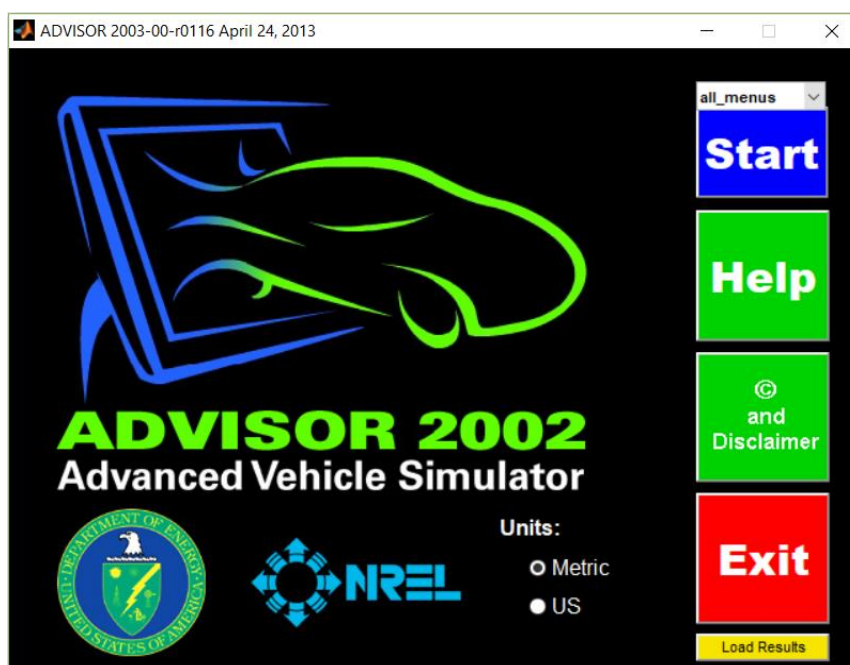


Figura 7 - Janela de início do programa ADVISOR v.2003 [25].

A Figura 8 ilustra a janela de configuração do veículo conforme as diferentes necessidades. A janela exemplifica a configuração de um veículo elétrico *standard* que o programa proporciona.

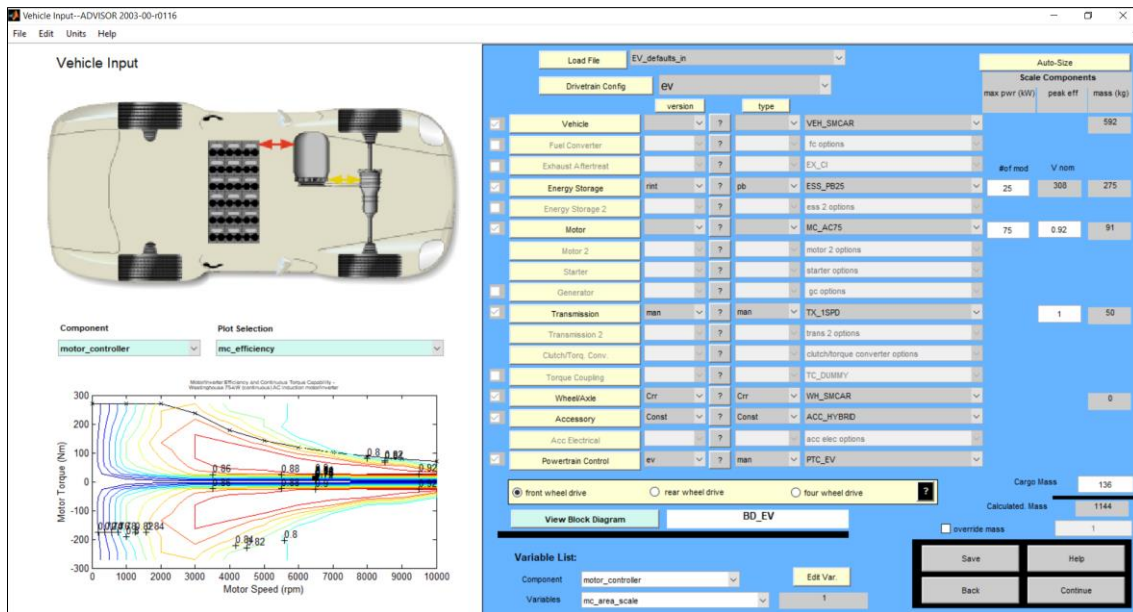


Figura 8 - Janela de introdução de dados sobre o veículo [25].

Como se pode verificar, os *inputs*, relativos à caracterização do veículo a simular são:

- Veículo;
- Bateria;
- Motor;
- Transmissão;
- Rodas/Eixo;
- Acessórios;
- Cadeia Cinemática.

A Figura 9 ilustra a janela com as possibilidades de seleção dos ciclos de velocidade, testes específicos de aceleração, entre outras opções. Esta janela ilustra o modo de como o veículo é conduzido.

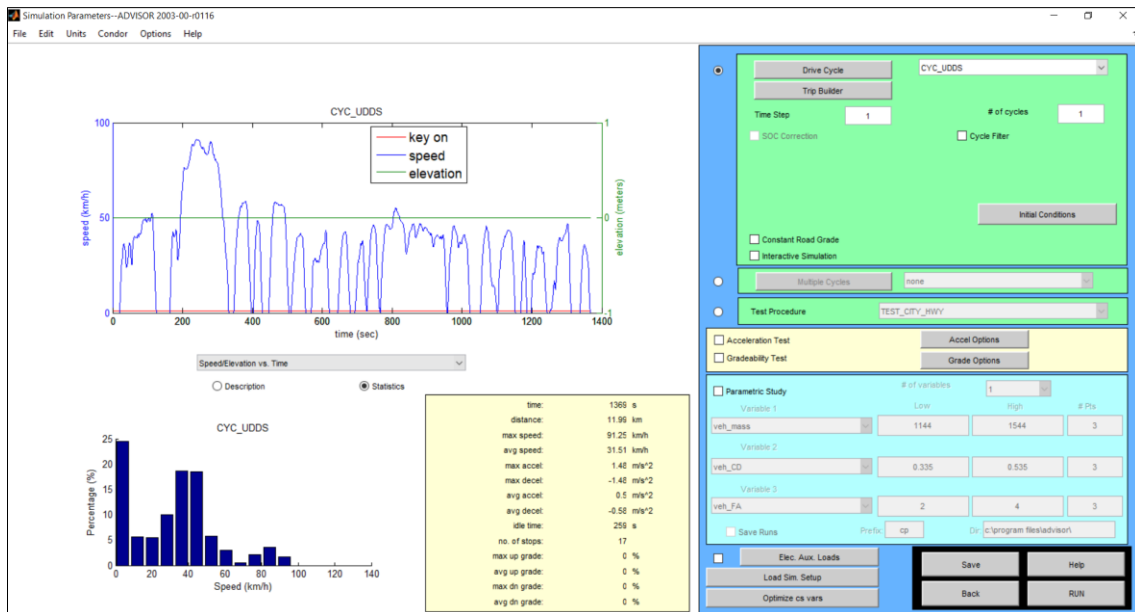


Figura 9 - Janela com a seleção do ciclo de condução – Velocidade (km/h) vs Tempo(s)[25].

Realizando o teste no ciclo pretendido, o programa permite obter dados instantâneos do veículo como o comportamento do veículo durante o ciclo, a descarga da bateria, a potência requerida ao motor, a potência requerida pelos auxiliares, entre outros dados. [Figura 10]

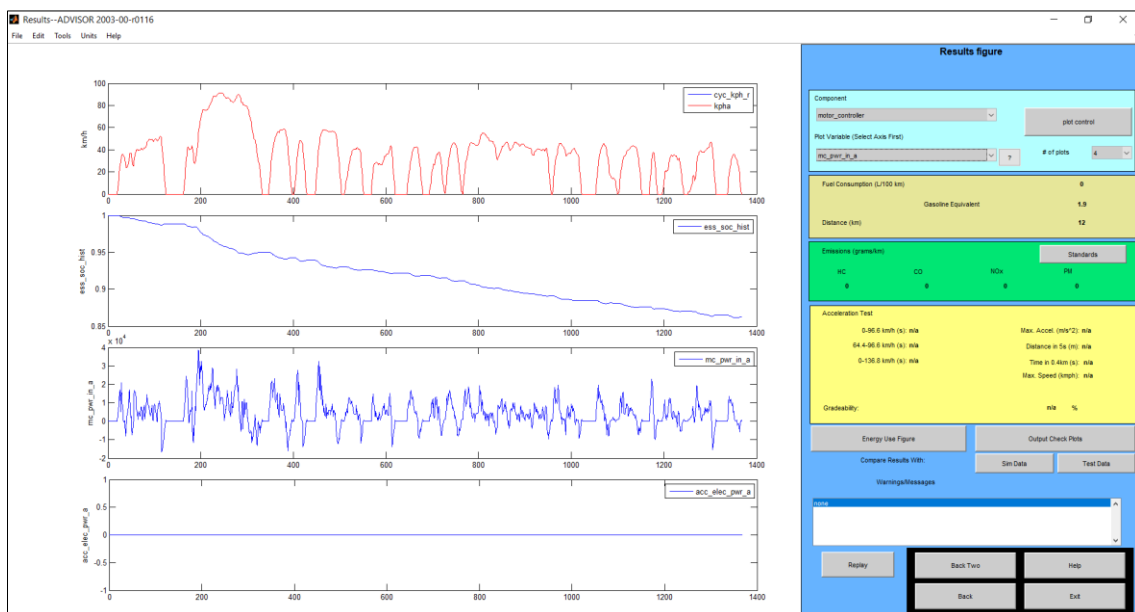


Figura 10 – Outputs instantâneos do programa.

O *software* utilizado permite ainda estimar os valores médios de cada ciclo, nomeadamente o consumo de combustível, a distância percorrida, as emissões produzidas pelo veículo e os testes de aceleração.

| | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|-----|----|
| Fuel Consumption (L/100 km) | 0 | | |
| Gasoline Equivalent | 1.9 | | |
| Distance (km) | 12 | | |
| Emissions (grams/km) | | | |
| | Standards | | |
| HC | CO | NOx | PM |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acceleration Test | | | |
| 0-50 km/h (s): 3.4 | Max. Accel. (m/s ²): 5 | | |
| 50-100 km/h (s): 8.7 | Distance in 5s (m): 52.7 | | |
| 0-100 km/h (s): 12.1 | Time in 0.4km (s): 18.1 | | |
| | Max. Speed (kmph): 146 | | |
| Gradeability: | n/a | % | |

Figura 11 - Outputs médios do programa.

3.2 Ciclos de Condução

Os ciclos de condução foram desenvolvidos com o intuito de uniformizar o modo como um veículo é conduzido para efeitos de homologação. Devido às diferenças inerentes aos múltiplos veículos existentes de diferentes marcas, tornou-se necessário criar padrões de avaliação específicos para conseguir avaliar a *performance*, emissões (HC, CO, NO_x e partículas) e consumos destes veículos, para assim, ser possível comparar diferentes veículos.

Um ciclo de condução consiste na realização de um ensaio em que o veículo poderá tomar diversas velocidades em determinados pontos no tempo. Os veículos são colocados numa plataforma com rolos em que o condutor segue as indicações do ciclo pretendido, onde as mudanças, aceleração e travagens são meticulosamente seguidas de acordo com o ciclo correspondente [26].

A literatura destaca dois tipos de ciclos de condução distintos: os ciclos modais e os ciclos transitórios. A principal diferença entre ambos é que, enquanto os ciclos transitórios são mais representativos de uma condução real, com diversas variações nas velocidades; os ciclos modais são ciclos mais teóricos com diversos períodos de aceleração e velocidade constantes [27].

Existem diversos tipos de ciclos de condução, sendo que alguns foram criados por agências americanas e outros por agências europeias. Assim, estes ciclos diferem em alguns aspetos pelo que analisar-se-á exemplos ilustrativos de ambas as entidades. [28] [29] [30].

3.2.1 Ciclos Americanos

Na literatura existem inúmeros ciclos Americanos, dos quais se evidenciam os seguintes:

Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)

Igualmente conhecido por *Federal Test Procedure 72 (FTP-72)* ou por ciclo LA-4, este ciclo simula uma rota urbana de 12,07 km com paragens frequentes. A velocidade máxima durante o ciclo é de 91,3 km/h e a velocidade média é cerca de 31,5 km/h.

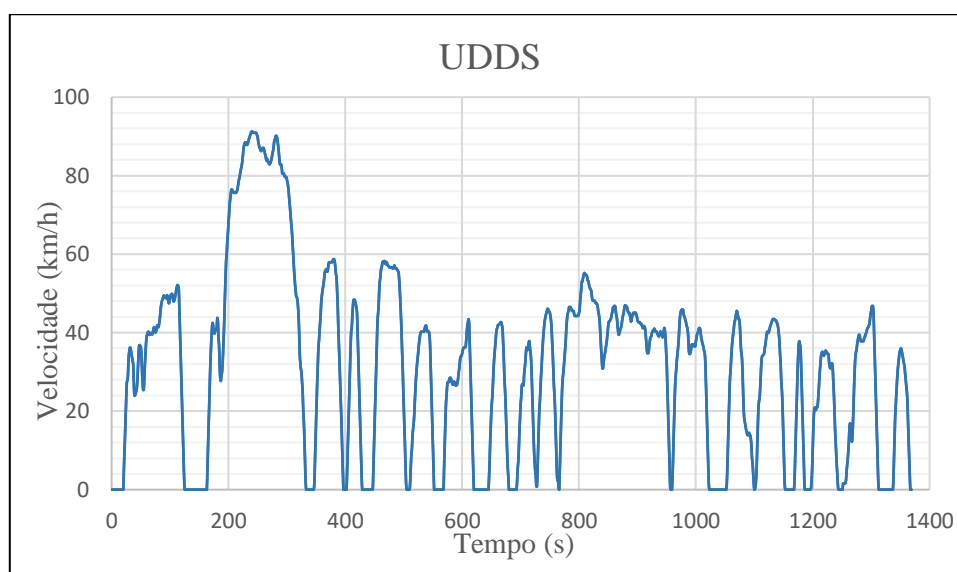


Gráfico 1 - Urban Dynamometer Driving Schedule (FTP-72) [9].

O ciclo consiste duas fases distintas: A primeira fase possui a duração de 505 segundos com 5.78 km de distância a 50.6 km/h de velocidade média. A segunda fase possui a duração de 867 segundos com 6.29 km de distância e 31.2 km/h de velocidade média. O ciclo tem a duração total de 1372 segundos e possui um peso de 0.43 e 0.57 para cada fase, respetivamente.

Federal Test Procedure 75 (FTP-75)

Este ciclo tem sido amplamente utilizado nos Estados Unidos da América como um dos ciclos principais para a avaliação das emissões e consumos de veículos ligeiros.

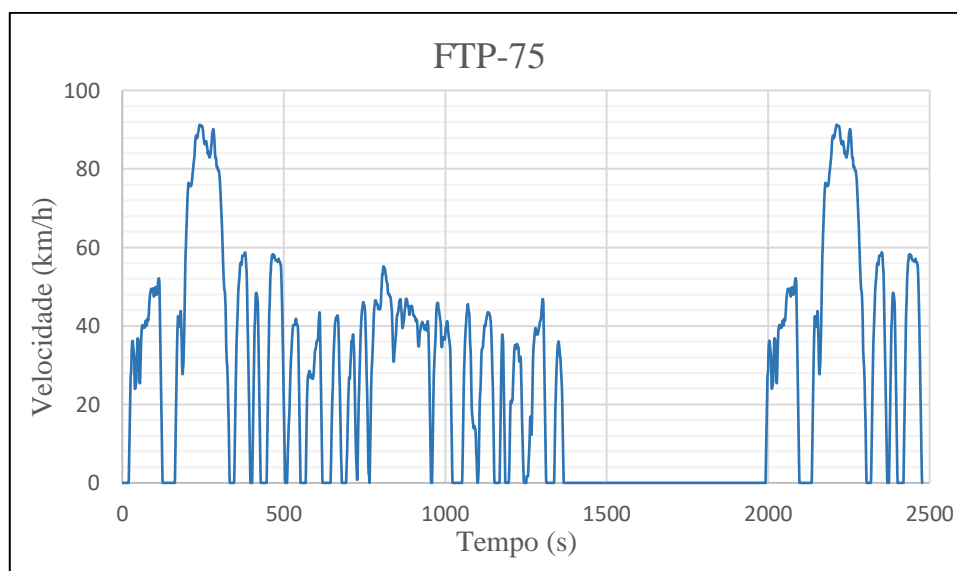


Gráfico 2 - Urban Dynamometer Driving Schedule (FTP-75) [9].

Advém do ciclo FTP-72 mas com o acréscimo de uma terceira fase similar à primeira, apesar de realizar-se com um arranque a quente. Após o término da segunda fase, o veículo fica parado durante 10 minutos e depois procede-se à terceira fase.

Assim, o ciclo completo do FTP-75 consiste em:

1. Arranque a frio ($T_{amb}=20-30^{\circ}C$), entre 0-505 s;
2. Fase estabilizada, entre 506-1372 s;
3. Paragem do veículo, mín 540 s | max 660 s;
4. Arranque a quente, entre 0-505 s

Os fatores de ponderação para cada uma das fases é 0,43; 1,0; 0,57 para cada fase, respetivamente.

Neste contexto, os parâmetros básicos do ciclo FTP-75 são:

- Duração: 1877 s;
- Distância percorrida: 17.77 km;
- Velocidade média: 34.12 km/h;
- Velocidade máxima: 91.25 km/h.

Supplemental Federal Test Procedure (SFTP) - US06

Este ciclo foi desenvolvido visando rectificar as falhas do ciclo FTP-75, nomeadamente ao nível da representação fidedigna de conduções mais agressivas com bastantes oscilações nas acelerações e velocidades.

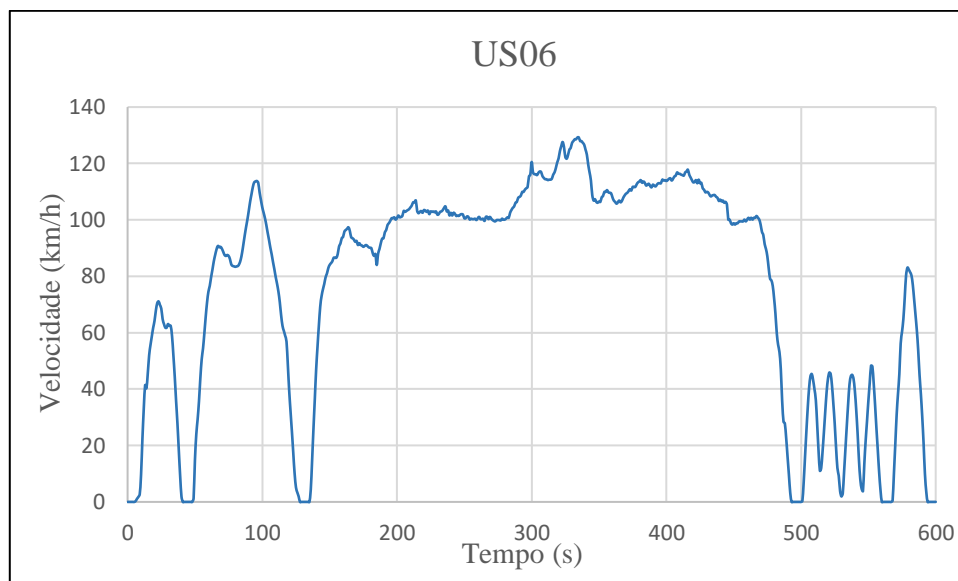


Gráfico 3 - Supplemental Federal Test Procedure (SFTP) - US06 [9].

Os parâmetros básicos do ciclo *Supplemental Federal Test Procedure (SFTP) - US06* são:

- Duração: 596 s;
- Distância percorrida: 12,8 km;
- Velocidade média: 77,9 km/h;
- Velocidade máxima: 129,2km/h.

Supplemental Federal Test Procedure (SFTP) - SC03

O ciclo SC03 foi desenvolvido tendo como objetivo determinar e representar a influência da utilização de ar condicionado em veículos certificados pelo ciclo FTP-75. O ciclo é realizado em banco de rolos com o ar condicionado ligado a uma temperatura exterior de 35°C.

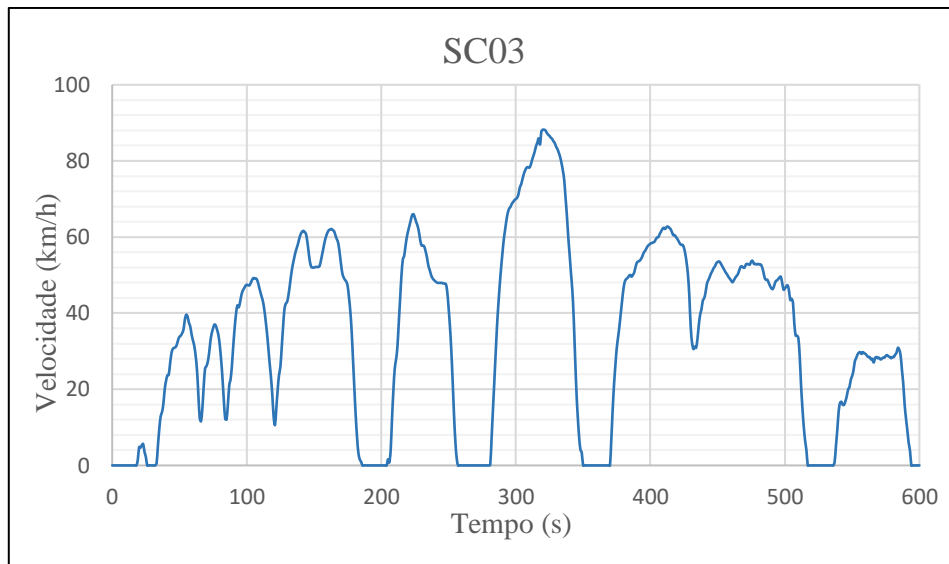


Gráfico 4 - Supplemental Federal Test Procedure (SFTP) - SC03 [9].

Assim, os parâmetros básicos do ciclo SFTP são:

- Duração: 596 s;
- Distância percorrida: 5,8 km;
- Velocidade média: 34,8 km/h;
- Velocidade máxima: 88,2 km/h.

Highway Fuel Economy Test (HWFET)

O ciclo HWFET foi introduzido para determinar o consumo energético dos veículos em velocidades superiores, nomeadamente em vias rápidas e autoestradas.

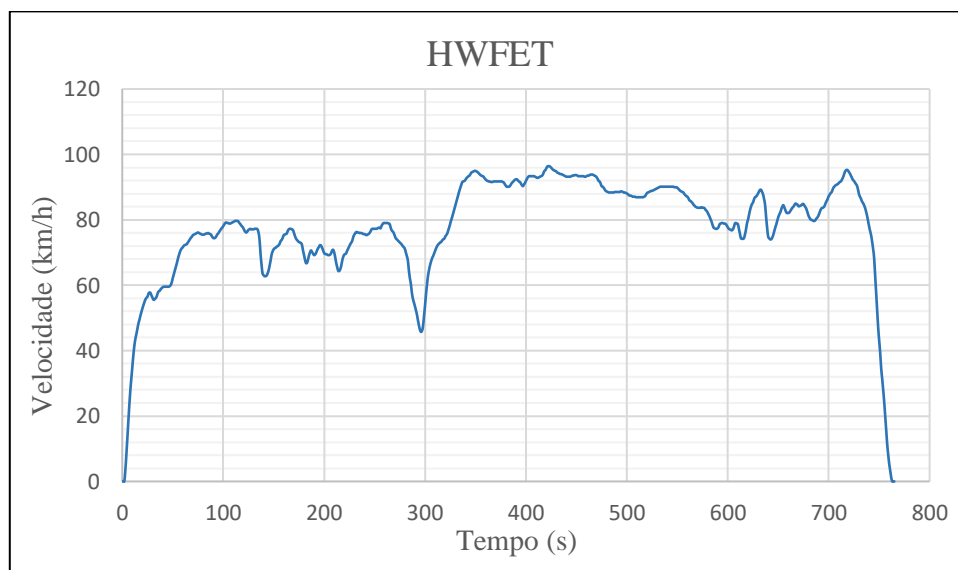


Gráfico 5 - Highway Fuel Economy Test (HWFET) [9].

O teste é realizado duas vezes, com uma interrupção de cerca de 17 segundos. O primeiro teste funciona como uma sequência de condicionamento do veículo, enquanto o segundo teste permite aferir o consumo.

Desta forma, os parâmetros básicos deste ciclo são:

- Duração: 765 s;
- Distância percorrida: 16,45 km;
- Velocidade média: 77,7 km/h;
- Velocidade máxima 96,4 km/h.

3.2.2 Ciclos Europeus

Na literatura é possível encontrar diversos ciclos europeus, dos quais se destacam:

New European Driving Cycle (NEDC)

O NEDC consiste na combinação entre dois ciclos distintos, o *Urban Driving Cycle ECE-15 (UDC ECE-15)* e o *Extra-Urban Driving Cycle (EUDC)*. O ciclo é amplamente usado nos países Europeus como o *standard* de avaliação de emissões e consumos de veículos familiares ligeiros.

O ciclo corresponde, na sua totalidade, em 4 segmentos do ciclo UDC ECE-15, seguido de um segmento do ciclo EUDC.

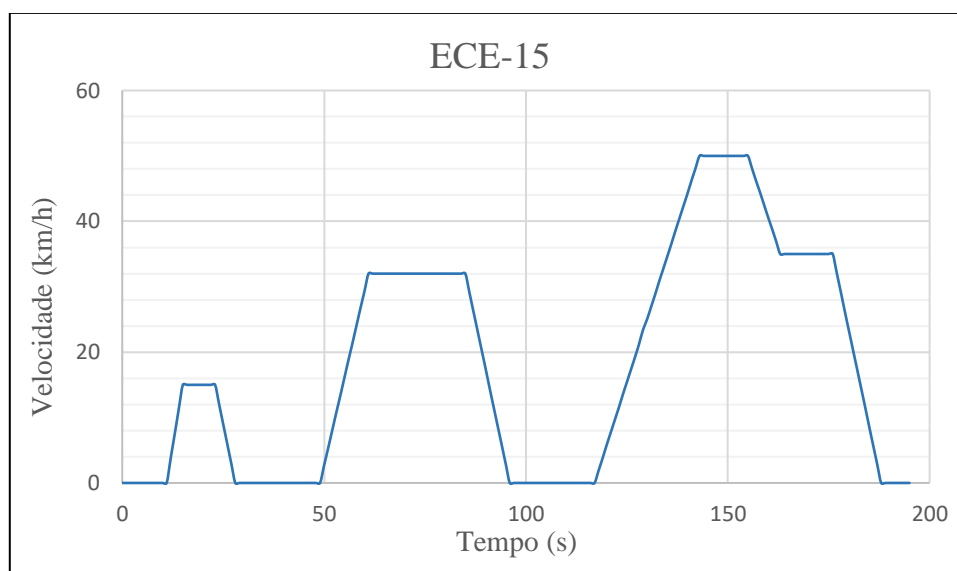


Gráfico 6 - Urban Driving Cycle ECE-15 (UDC ECE-15) [9].

As quatro repetições do UDC ECE-15 permitem simular uma condução tipicamente citadina, caracterizada maioritariamente por velocidades baixas. É uma condução representativa de grandes cidades europeias com bastante trânsito e sinalização, tais como Paris e Roma.

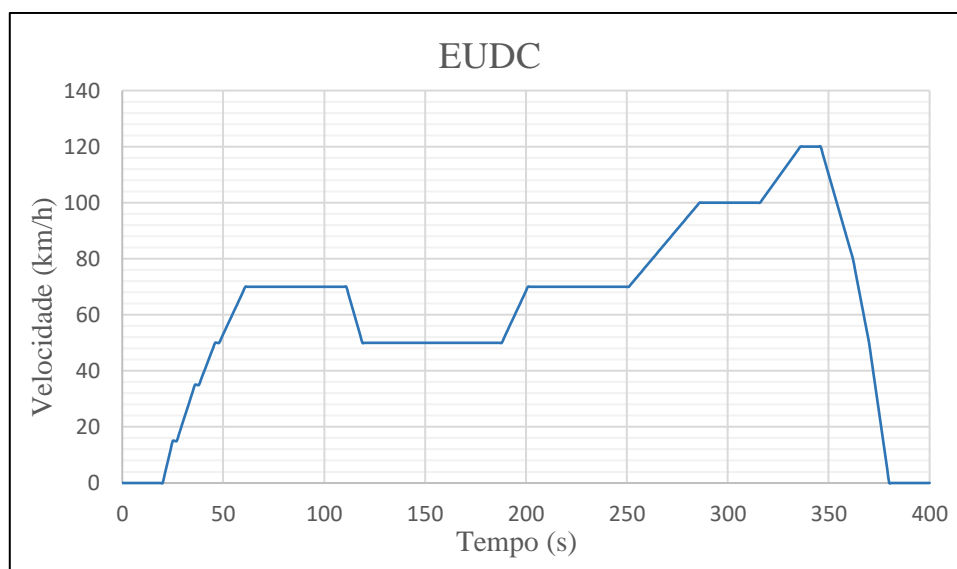


Gráfico 7 - Extra-Urban Driving Cycle (EUDC) [9].

O segmento correspondente ao EUDC foi acrescentado após os quatro segmentos de condução urbana para procurar contabilizar a condução a velocidades superiores.

Desta forma, os parâmetros básicos do ciclo encontram-se descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do ciclo UDC ECE-15/EUDC/NEDC.

| Características | Unidades | UDC ECE-15 | EUDC | NEDC |
|-----------------------------------|------------------|------------|-------|-------|
| Distância | km | 0,99 | 6,95 | 10,93 |
| Duração | s | 195 | 400 | 1180 |
| Velocidade Média (incl. Paragens) | km/h | 18,35 | 62,59 | 33,35 |
| Velocidade Média (excl. Paragens) | km/h | 25,93 | 69,36 | 43,10 |
| Velocidade Máxima | km/h | 50 | 120 | 120 |
| Aceleração Média | m/s ² | 0,60 | 0,35 | 0,51 |
| Aceleração Máxima | m/s ² | 1,04 | 0,83 | 1,04 |

Desta forma a combinação dos dois ciclos anteriormente descritos resulta no ciclo completo do NEDC.

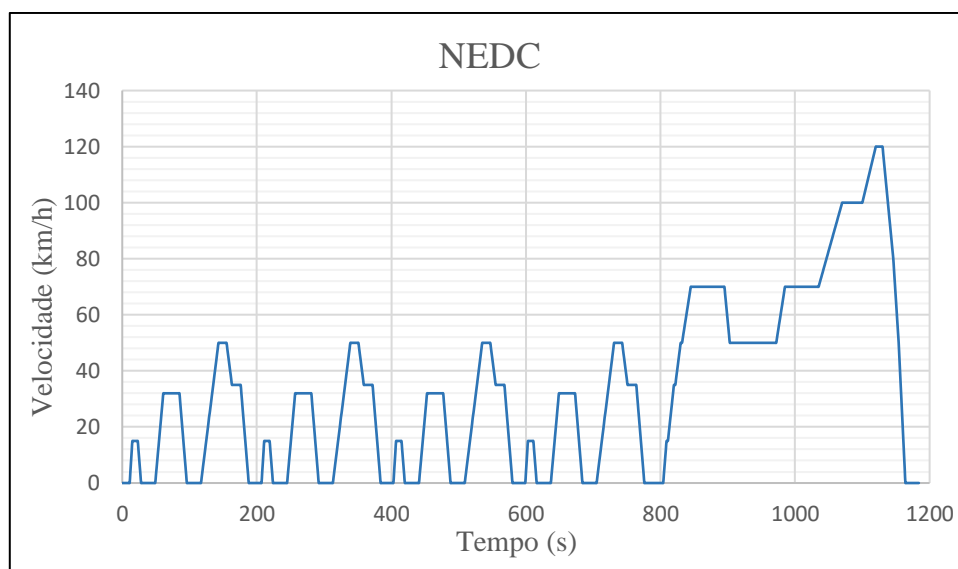


Gráfico 8 - New European Driving Cycle (NEDC) [9].

Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP)

O WLTP procura responder à necessidade de colmatar as falhas identificadas no ciclo NEDC, no que respeita à disparidade entre os resultados obtidos em simulação *versus* os valores obtidos em condução real. O ciclo foi idealizado por uma equipa com especialistas de diversos países com o propósito de uniformizar os testes realizados aos veículos previamente à sua venda ao público, aproximando-os ao máximo de uma condução real.

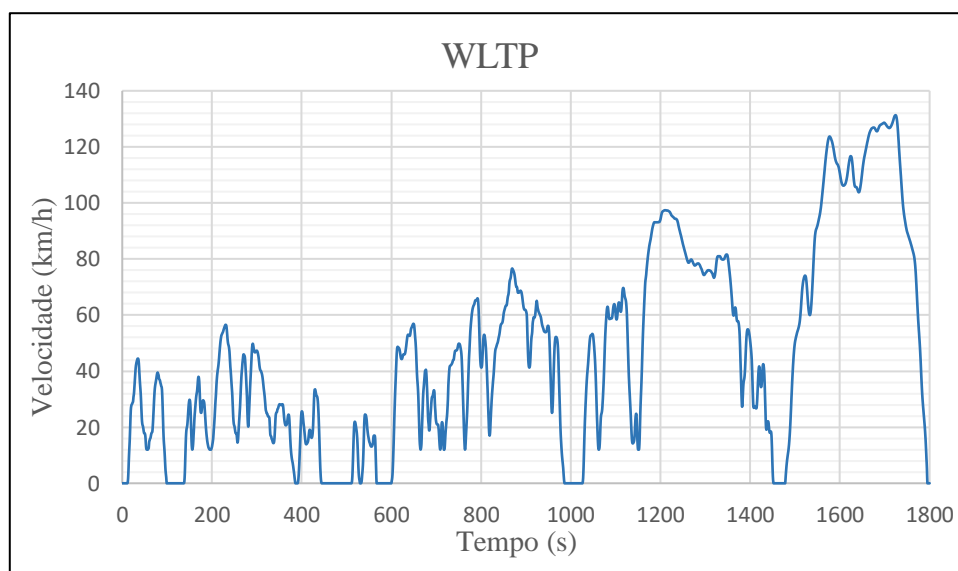


Gráfico 9 - Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP) [9].

Na sua fase inicial e, desde Setembro de 2017, este ciclo está a ser introduzido para os novos tipos de carros. Posteriormente, a partir de Setembro de 2018, todos os carros deverão estar certificados de acordo com o ciclo WLTP. Por fim, em Janeiro de 2019 todos os veículos devem apresentar a certificação do WLTP em todos os pontos de venda.

O novo ciclo procura introduzir uma condução mais aproximada da realidade, e apresenta claras vantagens quando comparado com o ciclo NEDC, nomeadamente, maior média de velocidades, situações de condução mais variadas, teste mais longo assim como acelerações e travagens mais dinâmicas.

Desta forma, os parâmetros básicos do ciclo encontram-se descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Características ciclo WLTP.

| Características | Unidades | Low | Medium | High | Extra High | Total |
|-----------------------------------|------------------|-------|--------|-------|------------|--------|
| Distância | Km | 3,095 | 4,756 | 7,162 | 8,254 | 23,266 |
| Duração | S | 150 | 433 | 455 | 323 | 1800 |
| Velocidade Média (incl. Paragens) | km/h | 18,9 | 39,4 | 56,5 | 91,7 | 46,5 |
| Velocidade Média (excl. Paragens) | km/h | 25,3 | 44,5 | 60,7 | 94 | 53,5 |
| Velocidade Máxima | km/h | 56,5 | 76,6 | 97,4 | 131,3 | - |
| Aceleração Máxima | m/s ² | 1,611 | 1,611 | 1,666 | 1,055 | - |

3.3 Especificações do carro elétrico

Inicialmente, procedeu-se à escolha de um veículo elétrico existente no mercado, tendo como objetivo a introdução das suas características no *software* ADVISOR, visando assim, simular os seus comportamentos numa condução realística.

O veículo elétrico escolhido para análise foi o Nissan Leaf 2013. A Tabela 3 compila e sumariza as principais especificações e atributos do veículo, recolhidas de diferentes fontes da literatura.

Tabela 3 - Especificações Nissan Leaf 2013 [31], [32].

| Especificações Nissan Leaf 2013 | | |
|-------------------------------------|----------------|--|
| EPA Consumo Energético | kWh/100km | 16,8 Cidade 21,2 Autoestrada 18,6 Combinado |
| NEDC Consumo Energético | kWh/100km | 15 |
| EPA Autonomia | km | 135 |
| NEDC Autonomia | km | 199 |
| Velocidade Máxima | km/h | 146 |
| Pneus | - | 205/55R16 |
| Tipo de Motor | - | AC Síncrono |
| Potência Máxima Motor | kWh | 80 |
| Torque Máximo Motor | Nm | 254 |
| Velocidade Máxima Motor | rpm | 10500 |
| Crr0 | - | 9,66e-3 |
| Crr1 | s/m | 7,56e-5 |
| Rácio Caixa Velocidades | - | 7,9:1 |
| Tração | - | Dianteira |
| Tipo de Bateria | - | Ião-Lítio |
| Nº de Células da Bateria | - | 192 |
| Configuração das Células | - | 2 em paralelo, 96 em série |
| Tensão Nominal por Célula | V | 3,7 |
| Tensão Nominal do Sistema | V | 364,8 |
| Capacidade da Bateria | kWh | 24 |
| Peso da Bateria | kg | 290 |
| Peso do veículo | kg | 1498 |
| Distribuição F/R | % | 58/42 |
| Distância entre Eixos | m | 2,70 |
| Distância ao Solo | m | 0,16 |
| Altura do Veículo | m | 1,55 |
| Área Frontal | m ² | 2,27 |
| Coefficiente de Atrito Aerodinâmico | m | 0,29 |
| Raio do Pneu | m | 0,31 |

A escolha do Nissan Leaf como veículo elétrico a analisar, teve como principal fator o seu reconhecimento como referência a nível mundial na categoria de carros elétricos. No entanto, a sua liderança como veículo elétrico mais vendido na Europa foi retirada recentemente pelo

Renault Zoe [33]. Ainda assim, o Nissan Leaf continua a ser um dos veículos com mais história e informação disponível, sendo que, o modelo de 2013 conceitua melhor esta realidade.

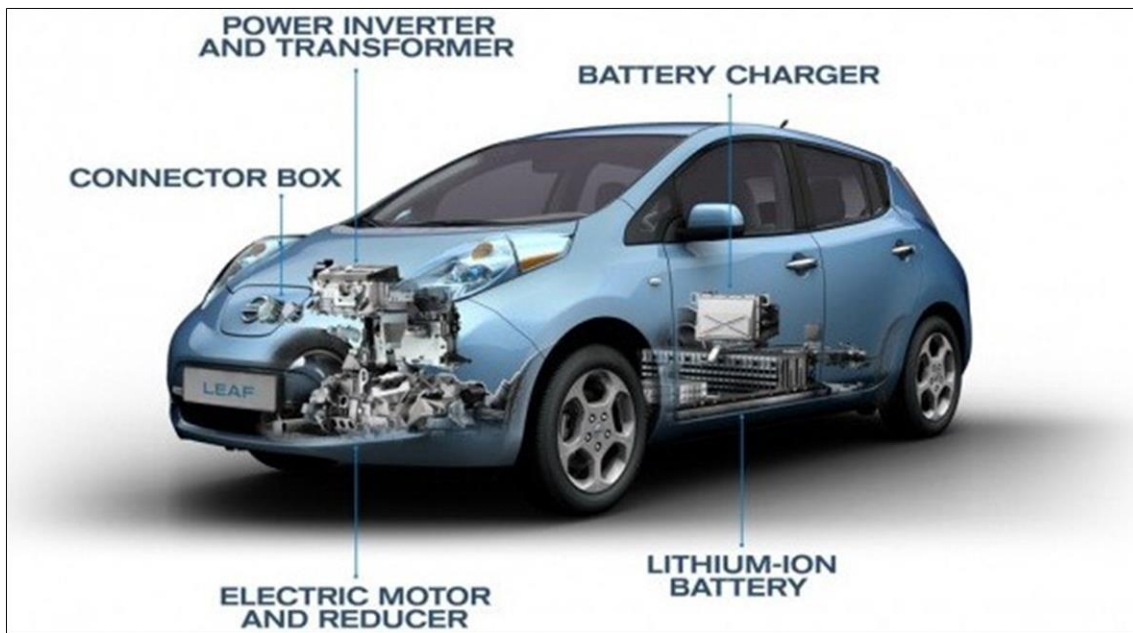


Figura 12 - Diagrama de motor Nissan Leaf 2013 [34].

3.4 Validação do Software

3.4.1 Calibração do Veículo

Após a introdução de todas as variáveis relativas às características do Nissan Leaf, efetuou-se a calibração do veículo no *software*. A Figura 13 apresenta os resultados da calibração do veículo no programa.

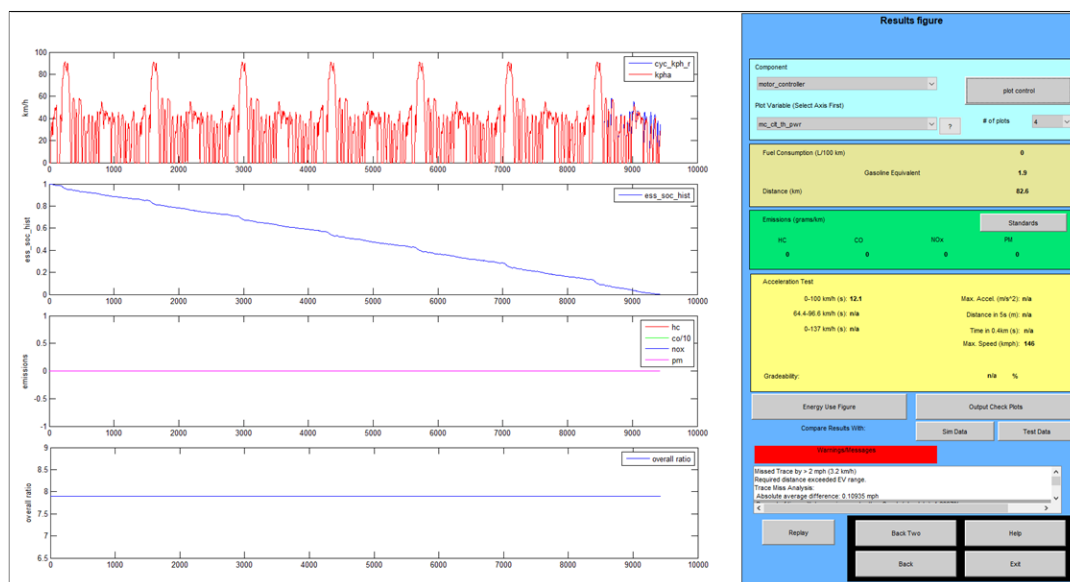


Figura 13 - Calibração do Veículo [25].

Foi realizado um teste com o ciclo NEDC e analisados os valores obtidos, comparando-os com os valores anunciados pela marca. A Tabela 4, apresenta o diferencial entre os valores estimados pela simulação e os valores anunciados pela marca.

Tabela 4 - Calibração Veículo - Ciclo NEDC.

| NEDC | Unidades | Publicado | Simulado | Diferencial |
|-----------------------|----------|-----------|----------|-------------|
| Autonomia | km | 199 | 84,8 | -57,39% |
| Consumo | Wh/km | 140 | 143 | 2,14% |
| Velocidade Máxima | km/h | 146 | 146 | 0,00% |
| Aceleração 0-100 km/h | s | 10,6 | 11,2 | 5,66% |

Como é possível verificar, todos os valores foram calibrados de modo a não possuírem desvios significativos aos valores anunciados. Deste modo, apenas se destaca o valor da autonomia conseguido no ciclo NEDC que foi significativamente inferior ao esperado. Contudo, é importante salientar que diversos autores na literatura referem que a autonomia apresentada é considerada exagerada e nunca foram atingidos valores semelhantes [35] [31].

O consumo na bateria é relativamente semelhante (Tabela 4), pelo que, considerando a similaridade das características introduzidas no programa, a diferença nos valores obtidos da autonomia pode ser atribuída à capacidade de regeneração do veículo quando efetua uma travagem.

Nesta análise, os valores assumidos para a regeneração da bateria foram os valores base do *software* ADVISOR, uma vez que valores do veículo Nissan Leaf são considerados proprietários e não se encontram disponíveis na literatura.

O decréscimo da autonomia do veículo não é diretamente proporcional ao consumo energético do mesmo uma vez que a autonomia apresentada pelo programa considera o efeito da regeneração contribuindo para o seu aumento.

Foi estimado que a travagem regenerativa pode contribuir com ganhos de cerca de 25% na autonomia dos veículos elétricos [36]. Deste modo, através deste tipo de prática consegue-se aumentar substancialmente capacidade da bateria de um veículo elétrico. No entanto, existem outros fatores que poderão influenciar a autonomia além da capacidade nominal da bateria.

O Departamento Norte Americano de Energia realiza diversos testes em diferentes áreas pela alçada de uma das suas divisões, a divisão de eficiência energética e energias renováveis. Um dos programas de testes que conduzem é direcionado para as tecnologias emergentes e para a eficiência energética de veículos elétricos.

O Nissan Leaf 2013 foi sujeito a inúmeras medições tanto a nível das especificações do veículo como a sua performance. Um dos ensaios consistiu em medir o consumo energético em determinadas velocidades constantes, e assim traçar a sua curva de consumo. Com este intuito, realizaram-se os mesmos testes ao veículo idealizado a fim de analisar e comparar ambas as curvas de consumo, a do veículo simulado e a do veículo real [37].

Tabela 5 - Valores do consumo energético Nissan Leaf (Simulado vs Real).

| | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-------|-----|
| Simulado | Velocidade (km/h) | 12,5 | 25 | 37,5 | 50 | 62,5 | 75 | 87,5 | 100 | 112,5 | 125 |
| | Consumo (Wh/km) | 120 | 100 | 95 | 98 | 109 | 123 | 141 | 162 | 187 | 218 |
| Real | Velocidade (km/h) | 16 | 32 | 48 | 64 | 80 | 97 | 113 | 129 | | |
| | Consumo (Wh/km) | 83 | 91 | 104 | 123 | 147 | 177 | 214 | 247 | | |

Os pontos medidos são diferentes nas velocidades devido ao fato de que as medições realizadas pelo Departamento de Energia Norte Americano mediu um Wh/mi e esses valores foram convertidos para Wh/km. Para as medições do carro simulado fez-se um incremento na velocidade de 12,5 km/h até ao máximo de 125 km/h.

No Gráfico 10 é possível verificar que as curvas de consumo energético são semelhantes. Em ambas as curvas verifica-se um aumento significativo no seu consumo como resultado do aumento gradual da velocidade. No entanto, existe uma pequena diferença nos valores obtidos para velocidades mais baixas. A curva de consumo real segue um comportamento totalmente exponencial enquanto que, a curva de consumo do veículo simulado decresce quando registado um consumo entre os 37,5-50 km/h.

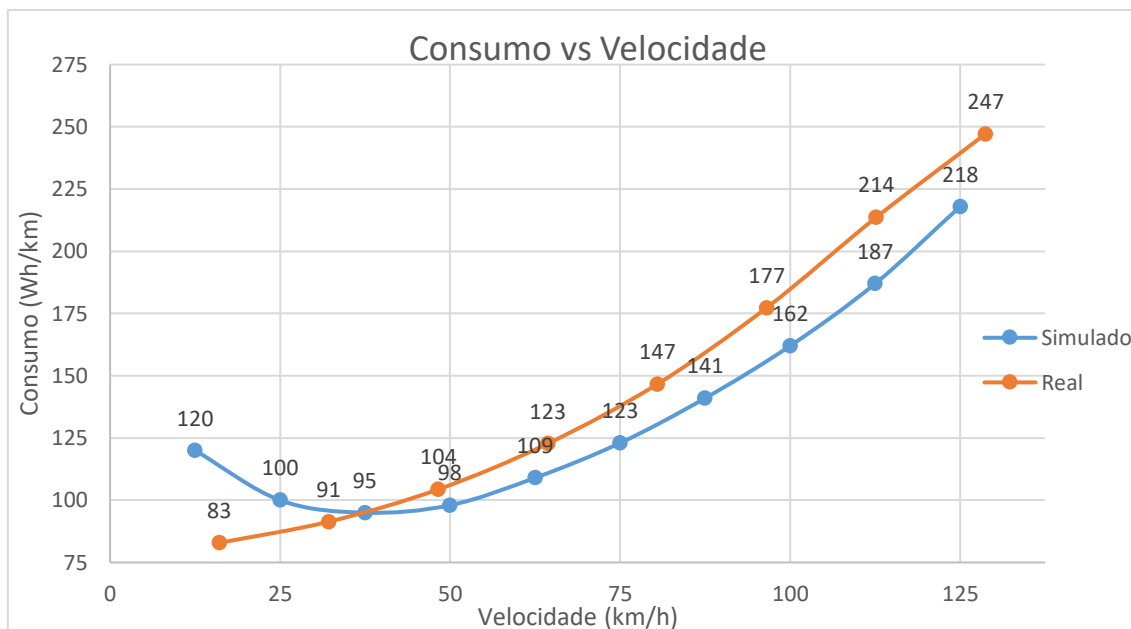


Gráfico 10 - Consumo energético Nissan Leaf.

Na realidade, a quantidade de energia necessária (em Wh/km) aumenta consideravelmente à medida que os múltiplos componentes sujeitos a perdas aumentam em relação à velocidade. Estes componentes incluem a resistência do vento ao veículo originando perdas aerodinâmicas, perdas pelos pneus devido ao atrito no pavimento, perdas pelo sistema de transmissão e ainda perdas por componentes auxiliares (Gráfico 10).

O consumo energético entre o veículo simulado e o veículo real possui uma diferença mínima de 6% e máxima de 14%, aproximadamente.

A Nissan não publica as curvas de consumo dos seus veículos, contudo outras empresas detentoras de veículos elétricos possuem essa prática, como a Tesla Inc. No Gráfico 11, é possível observar as curvas de consumo energético para um Tesla Roadster 2008, na qual o aumento da velocidade segue uma curva muito semelhante à do veículo idealizado, apresentando uma ligeira diminuição no consumo em velocidades moderadas e de um aumento substancial do consumo energético para velocidades mais elevadas.

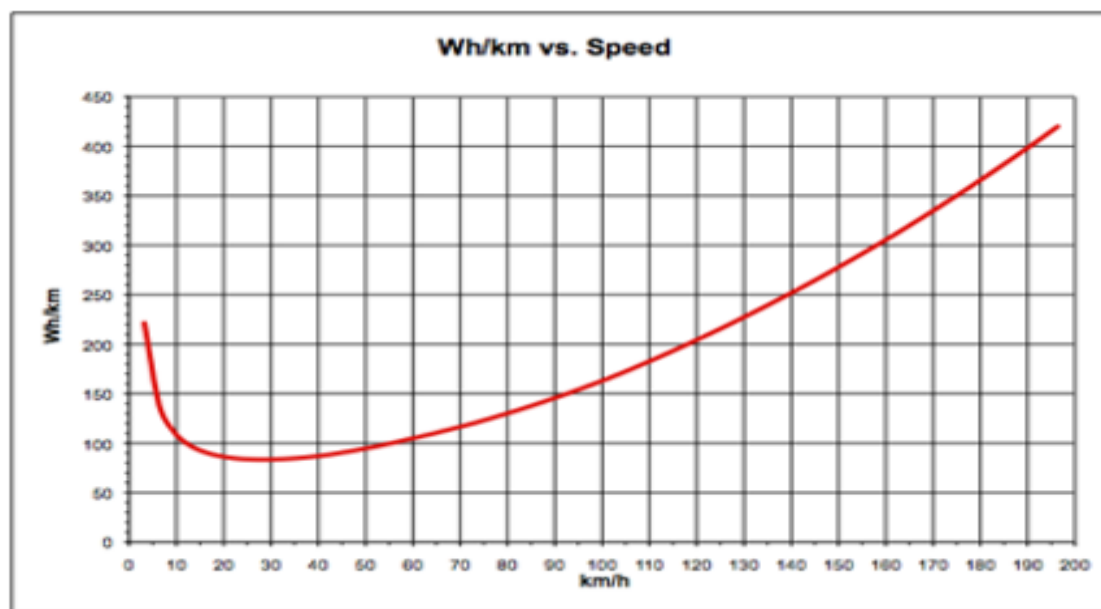


Gráfico 11 - Consumo energético Tesla Roadster [38].

Após diversas calibrações, alterações e testes realizados destinadas à composição do veículo, foi aceite esta configuração como o “veículo elétrico base” para a análise, tendo sido criado à semelhança do Nissan Leaf 2013.

3.5 Veículo Simulado

Após a introdução de todas as especificações do veículo e realizada a calibração no *software*, comparando com a *performance* real do carro modelo, foi iniciada a fase de testes ao “veículo base”.

A fase de testes consiste em analisar a autonomia e o consumo do “veículo base” mediante a introdução de uma variável - ar condicionado - variando as temperaturas exteriores. No entanto, alterou-se inicialmente apenas as temperaturas exteriores, sem adição da variável ar condicionado, de modo a conseguir estabelecer correlações indicativas de quais os fatores mais influenciadores da diminuição da autonomia.

Tendo em consideração a análise com a introdução de cargas auxiliares, simulando o fator do ar condicionado durante os ciclos, foram extrapolados os valores médios obtidos pela *FleetCarma* para o Nissan Leaf.

No entanto, apesar de ter sido considerado diversas cargas auxiliares, foi assumido que o ar condicionado constitui o *input* com maior influência no consumo da bateria.

O Gráfico 12 ilustra os dados recolhidos no *FleetCarma* representados em gráfico de carga *versus* temperatura. É possível imediatamente constatar que existe uma maior utilização de potência extra em temperaturas muito baixas. Por outro lado, verifica-se que, entre os 15°C e os 24°C, não existe uma grande solicitação de carga, devido a este intervalo coincidir com a temperatura de conforto da maioria das pessoas.

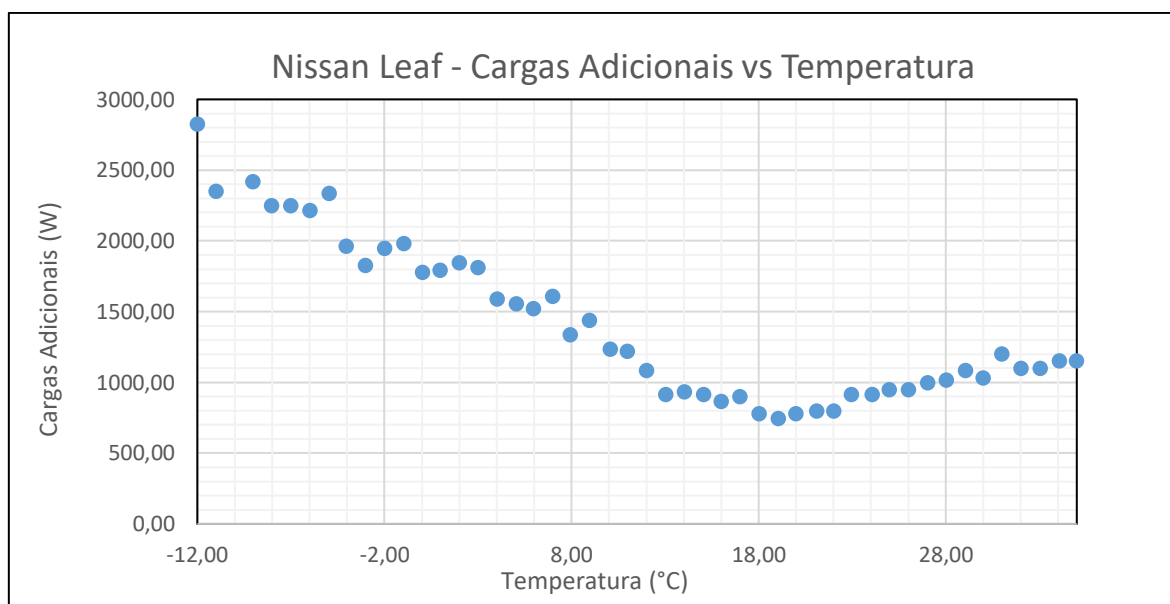


Gráfico 12 - Cargas adicionais médias Nissan Leaf.

4 Resultados e Discussão

4.1 Ciclos Europeus

Através da realização de uma simulação, variando a temperatura exterior entre -12°C e 35°C , procurou-se determinar a importância da variável temperatura na autonomia e no consumo do veículo elétrico em análise. Deste modo, e através da variação da temperatura no *software*, verificou-se que a temperatura por si só não é um fator determinante no decréscimo da autonomia e do aumento do consumo.

A Tabela 6, permite analisar e concluir que nos ciclos europeus, a variação de temperatura exterior entre a temperatura mínima de -12°C e a temperatura máxima de 35°C difere na autonomia em cerca de 3,25% para o ciclo NEDC e 1,62% para o ciclo WLTP.

Considerando o consumo energético, para o mesmo cenário, não existem diferenças significativas entre o valor base (20°C) e os valores com diferentes temperaturas (-12°C , -2°C , 8°C , 18°C , 28°C , 35°C). Observaram-se diferenças inferiores a 1% em ambos os ciclos.

Tabela 6 - Ciclos Europeus sem AC.

| Ciclos | | Base | Sem AC | | | | | |
|--------|-----------------|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 20°C 0 W | -12°C 0 W | -2°C 0 W | 8°C 0 W | 18°C 0 W | 28°C 0 W | 35°C 0 W |
| NEDC | Autonomia (km) | 84,8 | 83,1 | 83,5 | 84,1 | 84,7 | 85,4 | 85,8 |
| | Consumo (wh/km) | 143 | 144 | 144 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| WLTP | Autonomia (km) | 74,8 | 73,9 | 74,3 | 74,6 | 74,8 | 74,9 | 75,1 |
| | Consumo (wh/km) | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 163 |

Através da realização dos mesmos testes efetuados para estudar a influência da temperatura, introduziram-se os valores correspondentes de carga auxiliar adicional retirados através da informação do *Fleetcarma*. Deste modo, procurou-se determinar a influência da variável ar condicionado na autonomia e no consumo do veículo elétrico em estudo.

A Tabela 7, permite verificar que no ciclo NEDC existe uma maior redução na autonomia entre o valor de base sem a utilização de ar condicionado para o valor com a menor temperatura registada, onde é necessário uma maior utilização de carga extra. Neste sentido, existe uma redução de aproximadamente 44% de autonomia para este cenário.

O ciclo WLTP apresenta uma redução aproximada de 34% na autonomia para o mesmo cenário. Como esperado, a temperaturas inferiores, ambos os ciclos necessitam de uma maior potência para aquecer o habitáculo. Deste modo, a maior diferença será sempre entre os valores base para os valores com as menores temperaturas.

Relativamente ao consumo, registaram-se aumentos no mesmo entre os valores de base e os valores com a maior potência requerida na ordem dos 69% e dos 46%, para os ciclos NEDC e WLTP, respetivamente.

Tabela 7 - Ciclos Europeus com AC.

| Ciclos | | Base | Com AC | | | | | |
|--------|-----------------|------------|----------------|---------------|--------------|-------------|---------------|---------------|
| | | 20°C 0 W | -12°C 2822 W | -2°C 1944 W | 8°C 1335 W | 18°C 777W | 28°C 1014 W | 35°C 1149 W |
| NEDC | Autonomia (km) | 84,8 | 47,5 | 57,3 | 64,9 | 71,6 | 68,7 | 67,7 |
| | Consumo (wh/km) | 143 | 242 | 209 | 185 | 169 | 176 | 180 |
| WLTP | Autonomia (km) | 74,8 | 49,3 | 58,6 | 63,8 | 69,2 | 67,6 | 66,8 |
| | Consumo (wh/km) | 162 | 237 | 207 | 191 | 176 | 181 | 184 |

O Gráfico 13, permite visualizar as curvas de autonomia de ambos os ciclos europeus, com e sem a variável ar condicionado. Como foi acima demonstrado, verifica-se a clara tendência que a temperaturas muito baixas existe uma maior necessidade de utilizar mais potência.

A curva não ilustra os valores base a 20°C sem carga auxiliar, contudo é possível visualizar o incremento da autonomia à medida que se aproxima das temperaturas de conforto.

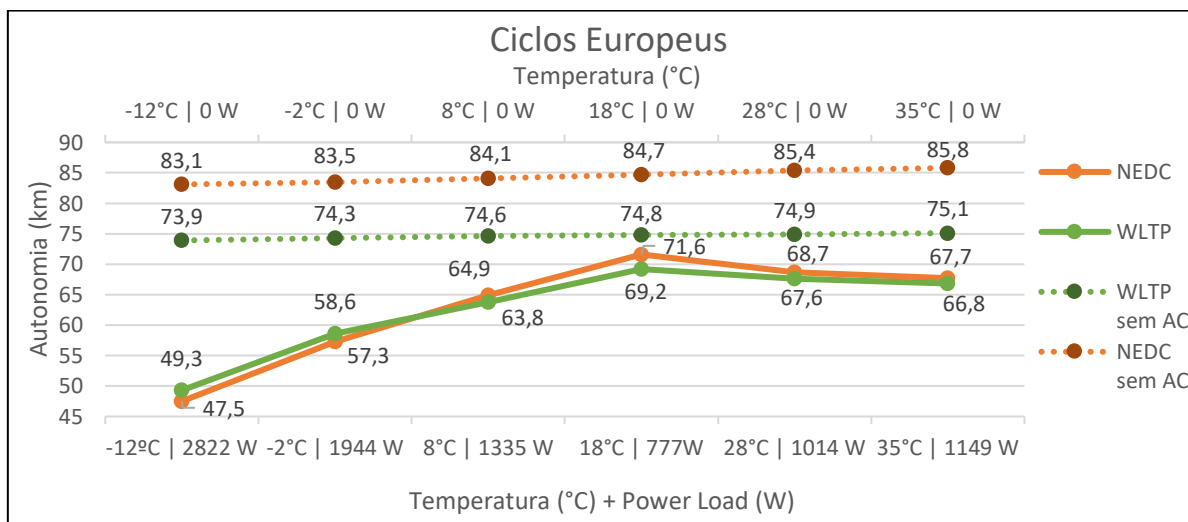


Gráfico 13 - Autonomia Ciclos Europeus.

4.2 Ciclos Americanos

Similarmente ao processo realizado para os ciclos europeus, a Tabela 8, permite verificar que nos ciclos americanos existe uma diferença de 3% para o ciclo UDDS e 1,4% para o ciclo HWFET, para uma variação de temperatura exterior entre a temperatura mínima de -12°C e a temperatura máxima de 35°C .

Identicamente aos ciclos europeus, o aumento do consumo para a situação em que apenas existe variação da temperatura não resultou em diferenças significativas, tendo sido verificadas como inferiores a 1%.

Tabela 8 - Ciclos Americanos sem AC.

| Ciclos | | Base | Sem AC | | | | | |
|--------|-----------------|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 20°C 0 W | -12°C 0 W | -2°C 0 W | 8°C 0 W | 18°C 0 W | 28°C 0 W | 35°C 0 W |
| UDDS | Autonomia (km) | 85,9 | 84,1 | 84,6 | 85,2 | 85,8 | 86,4 | 86,6 |
| | Consumo (wh/km) | 141 | 142 | 142 | 142 | 141 | 141 | 141 |
| HWFET | Autonomia (km) | 86,3 | 85,5 | 85,8 | 86 | 86,3 | 86,6 | 86,7 |
| | Consumo (wh/km) | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 |

A Tabela 9, permite verificar que, adicionando as cargas adicionais, existe igualmente reduções significativas na autonomia do veículo elétrico. O ciclo UDDS apresenta uma diminuição de 43,7% na autonomia e para o ciclo HWFET uma redução de 25,4%.

Considerando o consumo energético, o ciclo UDDS e HWFET apresentam aumentos consideráveis, registando incrementos de consumo em 68% e 28,6%, respetivamente.

É conveniente salientar a similaridade dos valores apresentados do ciclo europeu NEDC com o ciclo americano UDDS. Ambos os ciclos registaram uma diminuição de autonomia semelhante, de aproximadamente 44%. Verificou-se ainda um aumento similar do consumo energético que apenas diferiu em 1%. Uma vez que estes ciclos foram idealizados para o mesmo tipo de condução, é congruente que os resultados obtidos na redução de autonomia e aumento do consumo energético sejam similares.

Tabela 9 - Ciclos Americanos com AC.

| Ciclos | | Base | Com AC | | | | | |
|--------|-----------------|------------|----------------|---------------|--------------|-------------|---------------|---------------|
| | | 20°C 0 W | -12°C 2822 W | -2°C 1944 W | 8°C 1335 W | 18°C 777W | 28°C 1014 W | 35°C 1149 W |
| UDDS | Autonomia (km) | 85,9 | 48,4 | 58 | 64,8 | 72,3 | 69,6 | 68 |
| | Consumo (wh/km) | 141 | 237 | 206 | 185 | 167 | 174 | 179 |
| HWFET | Autonomia (km) | 86,3 | 64,4 | 72,1 | 76,3 | 80,2 | 78,9 | 78,3 |
| | Consumo (wh/km) | 140 | 180 | 167 | 158 | 151 | 154 | 155 |

O Gráfico 14 possibilita visualizar as curvas de autonomia para as situações supracitadas, em que se observa comportamentos idênticos aos ciclos anteriores. A autonomia aumenta à medida que nos aproximamos das temperaturas de conforto onde existe uma menor necessidade de energia.

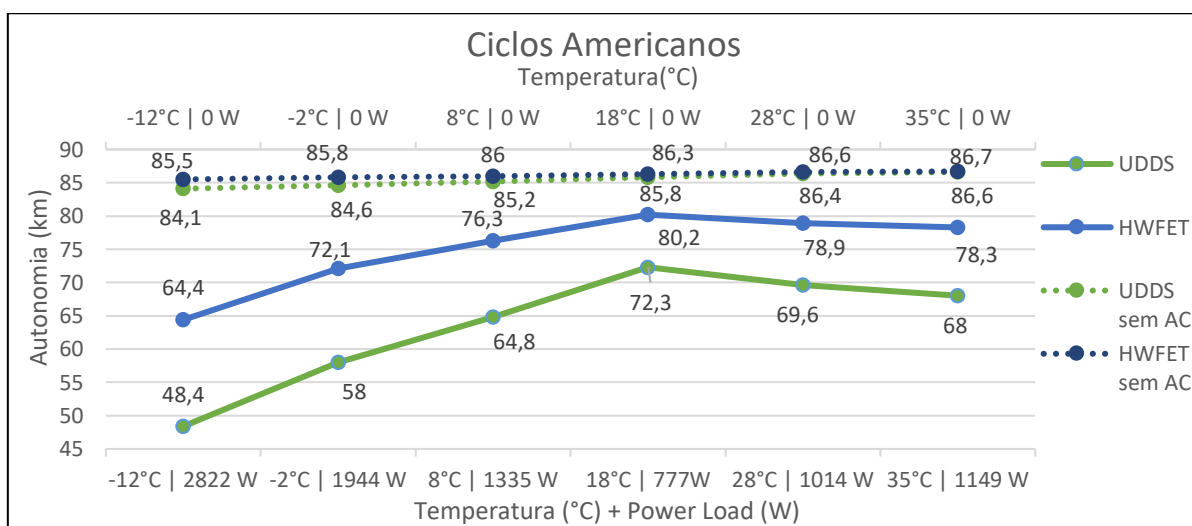


Gráfico 14 - Autonomia Ciclos Americanos.

4.3 Ciclos Complementares

Complementou-se o estudo através da realização da análise aos ciclos complementares, nomeadamente os ciclos US06 e SC03. Estes ciclos são utilizados para abordagens mais específicas pelo que foram considerados de ciclos complementares à análise.

A Tabela 10 apresenta os valores das simulações realizadas apenas com a variação de temperatura exterior entre a temperatura mínima de -12°C e a temperatura máxima de 35°C . É possível verificar que foram obtidos diferenças de 1,8% e 3,3% para os ciclos US06 e SC03, respetivamente.

Em conformidade com os resultados obtidos anteriormente, o consumo energético destes ciclos também não foi determinante para este cenário, tendo sido registados diferenças entre os valores inferiores a 1%.

Tabela 10 - Ciclos Complementares sem AC.

| Ciclos | | Base | Sem AC | | | | | |
|--------|-----------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
| | | 20°C 0 W | -12°C 0 W | -2°C 0 W | 8°C 0 W | 18°C 0 W | 28°C 0 W | 35°C 0 W |
| US06 | Autonomia (km) | 60,4 | 59,7 | 59,9 | 60,1 | 60,4 | 60,6 | 60,8 |
| | Consumo (wh/km) | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 209 | 209 |
| SC03 | Autonomia (km) | 83,2 | 81,2 | 82 | 82,5 | 83,1 | 83,5 | 83,9 |
| | Consumo (wh/km) | 146 | 148 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 |

A Tabela 11 apenas esquematiza a informação do ciclo US06, uma vez que, o ciclo SC03 considera a variável ar condicionado na sua própria simulação. Deste modo, apenas o ciclo US06 regista uma redução na sua autonomia de 20% entre a temperatura mínima -12°C e os valores de base.

Relativamente ao aumento do consumo verificado para o ciclo US06, assinala-se um aumento na ordem dos 19%.

Tabela 11 - Ciclos Complementares com AC.

| Ciclos | | Base | Com AC | | | | | |
|--------|-----------------|------------|----------------|---------------|--------------|-------------|---------------|---------------|
| | | 20°C 0 W | -12°C 2822 W | -2°C 1944 W | 8°C 1335 W | 18°C 777W | 28°C 1014 W | 35°C 1149 W |
| US06 | Autonomia (km) | 60,4 | 48,3 | 52 | 54,5 | 57,3 | 56,6 | 56,2 |
| | Consumo (wh/km) | 208 | 248 | 240 | 229 | 219 | 224 | 226 |

O Gráfico 15 ilustra a representação das tabelas acima indicadas, com apenas uma linha do ciclo SC03 representativa da variação da temperatura sem introdução de cargas auxiliares.

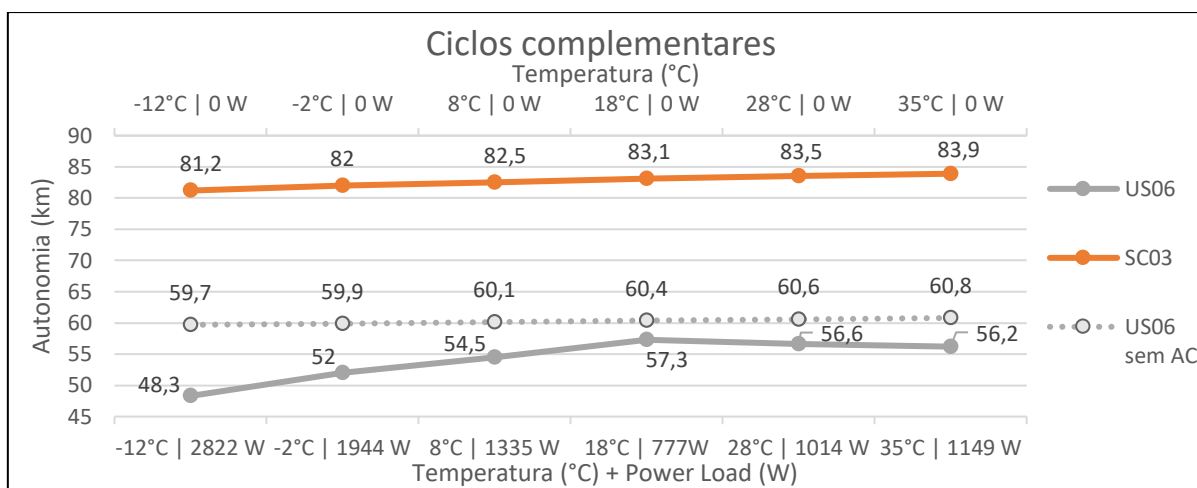


Gráfico 15 - Autonomia Ciclos Complementares.

De todas os cenários avaliados, o ciclo que obteve a menor redução na autonomia foi o ciclo US06 com aproximadamente 20%, possivelmente pela duração do ciclo assim como pelo fato de o ciclo possuir velocidades relativamente constantes sem grandes alterações.

Os ciclos onde foram observados uma maior redução na autonomia foram precisamente os ciclos mais utilizados para rotular as autonomias dos veículos quando são apresentados pelas marcas, o ciclo NEDC e o ciclo UDDS. Estes dois ciclos, apesar de corresponderem para diferentes públicos alvo, comportam-se de maneira semelhante pelo que é coerente que possuam resultados similares. Ambos os ciclos procuram retratar a condução do típico condutor diário, com parte urbana e extra-urbana, e registaram reduções na autonomia de, aproximadamente, 44%.

Relativamente aos aumentos verificados nos consumos, não sendo diretamente proporcionais às diminuições das autonomias, constata-se que os ciclos referidos no parágrafo anterior registaram os menores e maiores aumentos verificados. No ciclo US06 observou um aumento de 19% no consumo energético, e os ciclos NEDC e UDDS registaram um aumento de 69% e 68%, respetivamente.

4.4 Comparação de Resultados

Uma vez que o estudo realizado em “Simulation and Evaluation of the Air Conditioning system in electric vehicles Nissan Leaf as a case study October 2017” [21] não considera temperaturas negativas e considera unicamente uma temperatura exterior de 35°C, só é possível comparar as variáveis comuns em ambas as dissertações pelo que apenas irá ser comparado valores obtidos nesta dissertação para os testes efetuados a 35°C.

Assim, para temperaturas de 35°C com a introdução de ar condicionado, no estudo anterior foram observadas diminuições de 20,4% para os valores publicados para o ciclo NEDC, enquanto nesta dissertação foram observadas diminuições de cerca de 20,2%. No outro ciclo europeu, o WLTP, foram observadas reduções de cerca de 16,4% enquanto, na presente análise, apenas se registou uma diminuição da autonomia de 10,7%, aproximadamente.

No ciclo UDDS foram registadas diferenças de aproximadamente 25,2% no estudo anterior, enquanto nesta análise foram estimadas reduções da autonomia para este ciclo em 20,9%. No caso do ciclo HWFET, foram anteriormente observados reduções na autonomia na ordem dos 12,4%, enquanto neste estudo foram determinados valores de 9,3%. Por último, no ciclo US06 foram observados diminuições da autonomia de cerca de 19% para os valores publicados, enquanto nesta dissertação foram observados diminuições de, aproximadamente, 7%.

Tabela 12 - Comparação Resultados AVL CRUISE vs ADVISOR.

| Comparação | Softwares | |
|------------|-------------------|---------|
| | AVL CRUISE - KULI | ADVISOR |
| Ciclos | | |
| NEDC | 20,4% | 20,2% |
| WLTP | 16,4% | 10,7% |
| UDDS | 25,2% | 20,9% |
| HWFET | 12,4% | 9,3% |
| US06 | 19,0% | 7,0% |

É imperativo salientar que as diferenças registadas nas autonomias são relativas aos valores obtidos entre os carros base formulados em cada um dos *softwares* sem a introdução do sistema de ar condicionado *versus* os valores obtidos com a introdução de ar condicionado a temperaturas exteriores de 35°C.

As diferenças encontradas no estudo anterior foram relativamente semelhantes, apesar dos diferentes métodos e *softwares* utilizados.

5 Conclusão

O desenvolvimento da presente dissertação permitiu demonstrar o impacto que a introdução de cargas auxiliares extras num veículo elétrico podem ter, evidenciando um papel de grande importância na autonomia e consumo para um determinado veículo elétrico.

O *software* de simulação ADVISOR foi utilizado para simular a performance do veículo base idealizado, desenvolvido à semelhança do Nissan Leaf 2013. Após a calibração do veículo base foi efetuada a validação do mesmo, comparando os resultados obtidos no ciclo NEDC com os valores publicados pela marca.

De seguida, foram realizadas as simulações referentes aos diversos ciclos, variando apenas a temperatura exterior, sendo possível constatar que a variação da temperatura não detém uma influência significativa na autonomia e consumo do veículo elétrico em estudo. Assim sendo, apenas foram registados alterações na autonomia entre 1,4% e 3,3% considerando todos os ciclos avaliados. Ao nível de consumo apenas se registaram alterações inferiores, com aumentos entre os 0% e os 1,4% para todos os ciclos considerados.

No cenário da introdução de cargas auxiliares extras num veículo elétrico, foram registados valores consideravelmente mais elevados. Ao nível da autonomia do veículo, foram constatadas reduções entre os 20% e os 44% para todos os ciclos estudados. No entanto, a nível de consumo foram observadas discrepâncias superiores entre os valores, tendo sido registados aumentos no consumo entre os 19% e os 69%. Este aumento do consumo energético é superior ao decréscimo da autonomia em todas as situações analisadas devido ao efeito da regeneração dos veículos, permitindo que recuperem parte da sua autonomia.

Os ciclos europeus registaram ligeiras diferenças, contudo ao nível da prestação do veículo sem a introdução da variável ar condicionado não foram encontradas diferenças significativas. O novo ciclo europeu que começará a ser utilizado, o WLTP, registou um valor na redução da autonomia de, aproximadamente, 34%, comparativamente com o valor de 44% registado no ciclo NEDC. Ao nível do consumo energético verificaram-se aumentos na ordem dos 46% e dos 69%, para os ciclos WLTP e NEDC, respetivamente. Futuramente, deverá ser amplamente adotado o ciclo WLTP como o ciclo de referência para a homologação dos veículos visto ser um ciclo mais representativo de uma condução real citadina.

Por fim, é possível concluir que todas as cargas auxiliares impostas a um veículo elétrico resultam num aumento significativo do consumo energético, afetando assim a sua autonomia. Demonstrase ainda que a temperatura, apesar de influenciar minimamente, não constitui por si só o fator de maior grandeza na diminuição da autonomia dos veículos elétricos.

6 Desenvolvimentos Futuros

Tendo em conta o novo ciclo de condução europeu que passará a ser obrigatório para homologar todos os novos veículos produzidos, deverá ser efetuado um esforço pelas marcas de automóveis no sentido de publicarem os seus dados em diferentes ciclos e em diferentes contextos, nomeadamente com a utilização de ar condicionado.

As empresas detentoras de *softwares* para simulação de ciclos de condução e prestações de veículos devem continuar a introduzir novas opções e funcionalidades a fim de aproximar ao máximo os veículos simulados no programa aos veículos da realidade.

As marcas que tencionam investir no setor dos veículos elétricos devem procurar determinar a influência de todos os auxiliares na bateria, e o modo como cada variável afeta a autonomia. Seria também crucial informar os utilizadores, das autonomias conseguidas para os ciclos, com e sem ar condicionado ligado. Este tipo de informações poderia ser bastante útil para alguns utilizadores, uma vez que, como foi verificado a autonomia poderá ser significativamente inferior em países com temperaturas médias mais baixas.

Por ultimo, deverá ser efetuado ainda uma comparação do ciclo WLTP com condução baseada em dados reais, e verificar divergências nos resultados. Deste modo, procurar implementar medidas que consigam simular nos ciclos a introdução de ambientes de frio ou calor extremo, bem como a adição de ar condicionado.

7 Referências Bibliográficas

- [1] S. Dale e T. D. Smith, «Back to the future: electric vehicles and oil demand», 2016.
- [2] International Energy Agency, «OIL», 2017. [Em linha]. Disponível em: <https://www.iea.org/about/faqs/oil/>. [Acedido: 10-Jun-2017].
- [3] British Petroleum, «BP Statistical Review of World Energy 2017», *Br. Pet.*, n. 66, pp. 1–52, 2017.
- [4] T. Grossenbacher, «Global Oil Production & Consumption since 1965», *BP Statistical Review of World Energy 2013*, 2014. [Em linha]. Disponível em: <https://labs.timgrossenbacher.ch/worldoil/>. [Acedido: 10-Jun-2017].
- [5] E. Comission, «Paris Agreement», 2015. [Em linha]. Disponível em: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en. [Acedido: 18-Out-2017].
- [6] S. Castle, «Britain to Ban New Diesel and Gas Cars by 2040», *New York Times*, 2017. [Em linha]. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2017/07/26/world/europe/uk-diesel-petrol-emissions.html>. [Acedido: 10-Ago-2017].
- [7] R. Harrington, «This incredible fact should get you psyched about solar power», *Business Insider*, 2015. [Em linha]. Disponível em: <http://www.businessinsider.com/this-is-the-potential-of-solar-power-2015-9>. [Acedido: 18-Jun-2017].
- [8] E. Apostolaki-Iosifidou, P. Codani, e W. Kempton, «Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging», *Energy*, vol. 127, pp. 730–742, 2017.
- [9] C. Jamieson, «This Tesla Model S drove more than 1000km on a single charge», *Top Gear*, 2017. [Em linha]. Disponível em: <https://www.topgear.com/car-news/electric/tesla-model-s-drove-more-1000km-single-charge>. [Acedido: 22-Out-2017].
- [10] W. J. van Egmond, U. K. Starke, M. Saakes, C. J. N. Buisman, e H. V. M. Hamelers, «Energy efficiency of a concentration gradient flow battery at elevated temperatures», *J. Power Sources*, vol. 340, pp. 71–79, 2017.
- [11] K. Qian, C. Zhou, Y. Yuan, e M. Allan, «Temperature effect on electric vehicle battery cycle life in Vehicle-to-grid applications», *2010 China Int. Conf. Electr. Distrib.*, pp. 1–6, 2010.
- [12] I. N. Laboratory, «History of Electric Cars», *Advanced Vehicles Testing*. [Em linha]. Disponível em: <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/fsev/HistoryOfElectricCars.pdf>. [Acedido: 25-Out-2017].
- [13] R. Matulka, «The History of the Electric Car», *Energy Gov*, 2014. [Em linha]. Disponível em: <https://energy.gov/articles/history-electric-car>. [Acedido: 22-Set-2017].
- [14] S. Vepachedu, N. Institutes, E. View, G. View, e S. Vepachedu, «The History Of The Eletric Car», *Andhra J. Ind. News*, n. February, 2016.
- [15] E. H. Wakefield, *History of the Electric Automobile: Hybrid Electric Vehicles*. Society of Automotive Engineers, 1998.
- [16] M. A. Hannan, F. A. Azidin, e A. Mohamed, «Hybrid electric vehicles and their challenges: A review», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, pp. 135–150, 2014.
- [17] A. A. Racz, I. Muntean, e S.-D. Stan, «A Look into Electric/Hybrid Cars from an

- Ecological Perspective», *Procedia Technol.*, vol. 19, pp. 438–443, 2015.
- [18] M. Dijk, R. J. Orsato, e R. Kemp, «The emergence of an electric mobility trajectory», *Energy Policy*, vol. 52, pp. 135–145, 2013.
- [19] S. Soylu, *ELECTRIC VEHICLES – MODELLING AND Edited by Seref Soylu*. 2011.
- [20] C. Silva, «Estudo Numérico da Dinâmica Consumo e Emissão de Poluentes de Veículos Rodoviários Equipados com Motor de Combustão Interna», Instituto superior Técnico, Universidade de Lisboa., 2005.
- [21] D. Gonçalves, «Simulation and Evaluation of the Air Conditioning system in electric vehicles Nissan Leaf as a case study October 2017», Instituto superior Técnico, Universidade de Lisboa., 2017.
- [22] M. Barth *et al.*, «Development of a Comprehensive Modal Emissions Model», *Natl. Coop. Highw. Res. Progr.*, n. April, 2000.
- [23] A. C. Turkmen, S. Solmaz, e C. Celik, «Analysis of fuel cell vehicles with advisor software», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 70, n. July 2015, pp. 1066–1071, 2017.
- [24] A. Same, A. Stipe, D. Grossman, e J. W. Park, «A study on optimization of hybrid drive train using Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR)», *J. Power Sources*, vol. 195, n. 19, pp. 6954–6963, 2010.
- [25] K. B. Wipke, M. R. Cuddy, e S. D. Burch, «A User-Friendly Advanced Powertrain Simulation Using a Combined Backward / Forward Approach», *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 48, n. August, pp. 1751–1761, 1999.
- [26] B. J. Shim, K. S. Park, J. M. Koo, e S. H. Jin, «Work and speed based engine operation condition analysis for new European driving cycle (NEDC)», *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 28, n. 2, pp. 755–761, 2014.
- [27] R. Nicolas, «The different driving cycles», *Car Engineer*, 2013. [Em linha]. Disponível em: <http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>. [Acedido: 01-Jan-2017].
- [28] E. G. Giakoumis, *Driving and engine cycles*. 2016.
- [29] Diesel Net, «Emission Test Cycles», 2017. [Em linha]. Disponível em: <https://www.dieselnets.com/standards/cycles/index.php>. [Acedido: 18-Out-2017].
- [30] T. Barlow, S. Latham, I. McCrae, e P. Boulter, «A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions», *TRL Publ. Proj. Rep.*, p. 280, 2009.
- [31] T. Williams, «Nissan LEAF Side by Side Range Comparison: 2012 vs 2013», *Inside EV's*, 2013. [Em linha]. Disponível em: <https://insideevs.com/nissan-leaf-side-by-side-range-comparison-2012-vs-2013/>. [Acedido: 15-Out-2017].
- [32] «2013 Nissan Leaf», 2013. [Em linha]. Disponível em: <https://www.cars.com/research/nissan-leaf-2013/>. [Acedido: 11-Nov-2017].
- [33] J. Pontes, «BEST SELLING ELECTRIC CAR IN EUROPE IS RENAULT ZOE». [Em linha]. Disponível em: <https://evobsession.com/best-selling-electric-car-europe-renault-zoe-2016-electric-car-sales/>. [Acedido: 11-Nov-2017].
- [34] «Nissan Leaf 2013», *Wiring Diagrams*. [Em linha]. Disponível em: <http://www.wiringdiagrams21.com/2011/12/16/nissan-leaf-body-electrical-system-and-wiring-diagram/>. [Acedido: 16-Jan-2018].
- [35] T. Williams, «Real World Test: 2013 Nissan LEAF Range vs 2012 Nissan LEAF Range», *Inside EV's*, 2013. [Em linha]. Disponível em: <https://insideevs.com/real-world->

- test-2013-nissan-leaf-range-vs-2012-nissan-leaf-range/. [Acedido: 15-Out-2017].
- [36] C. Qiu e G. Wang, «New evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficiency improvement of electric vehicles», *Energy Convers. Manag.*, vol. 119, pp. 389–398, 2016.
- [37] U.S. Department of Energy e Idaho National Laboratory, «2013 Nissan Leaf: Advanced Vehicle Testing – Baseline Testing Results», *U.S. Dep. Energy*, pp. 1–5, 2013.
- [38] C. JB Straubel, «Roadster Efficiency and Range», 2008. [Em linha]. Disponível em: <https://www.tesla.com/blog/roadster-efficiency-and-range>. [Acedido: 17-Set-2017].