

MODELIZAÇÃO DE TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

CARLOS ALEXANDRE OLIVEIRA DA FONSECA

fevereiro de 2020

MODELIZAÇÃO DE TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

Carlos Alexandre Oliveira Da Fonseca



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

2020

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE
- Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Carlos Alexandre Oliveira Da Fonseca, N° 1060349, 1060349@isep.ipp.pt

Orientação científica: Sérgio Ramos, scr@isep.ipp.pt

Hugo Morais, hugo.morais@tecnico.ulisboa.pt

Tiago Soares, tia@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2020

“O conhecimento torna a alma jovem e diminui a amargura da velhice. Colhe, pois, a sabedoria. Armazena suavidade para o amanhã.”

Leonardo da Vinci

“Deus quer, o Homem sonha e a obra Nasce”

Fernando Pessoa

Agradecimentos

Quero agradecer desta forma a todas as pessoas, por terem assumido um papel muito importante para poder fazer a realização deste trabalho, alguns anos depois de deixar Portugal para emigrar para França.

Assim: aos meus pais, à minha irmã, à minha esposa, aos meus sogros, aos restantes colegas Engenheiros do ISEP, o Doutor Tiago Sousa, Engenheiro Cristiano Ferreira e colegas de trabalho em França um sincero obrigado pela paciência e apoio que sempre demonstraram em todos os momentos.

Por se tratar das pessoas que considero terem sido toda a minha base para a execução deste trabalho, quero agradecer ao Orientador Professor Doutor Tiago Soares e Professor Doutor Hugo Morais por toda a sua disponibilidade, transmissão de conhecimentos, e pela paciência que sempre tiveram comigo, para ter a coragem de avançar.

Para finalizar, deixo os melhores agradecimentos, ao orientador Professor Doutor Sérgio Ramos a quem manifesto todo apreço, pois seria impossível realizar este trabalho sem a sua colaboração.

Resumo

A contínua evolução do número de Veículos Elétricos (VEs) como meio de transporte das pessoas é uma tendência que veio para ficar e se perpetuará nos anos que se avizinham nos países mais desenvolvidos. Uma grande preocupação dos operadores dos sistemas elétricos e dos comercializadores de energia prende-se com o comportamento de carregamento dos VEs, uma vez que estes podem influenciar a operação do sistema e conseqüentemente o preço da energia. Na verdade, o carregamento descoordenado dos VEs, conhecido como *dumb charge*, pode levar a problemas de congestionamento e tensão principalmente ao nível da rede de distribuição de média e baixa tensão. Neste sentido, os operadores de sistema têm vindo a estudar medidas que levem ao carregamento inteligente dos VEs, de forma a mitigar o impacto negativo que os VEs podem causar no sistema. Em paralelo, os operadores de sistema e comercializadores de energia podem beneficiar com a flexibilidade dos VEs. O operador do sistema tem interesse em escalonar o carregamento dos VEs para períodos em que não haja perigo de problemas de congestionamento e tensão. Similarmente, os comercializadores de energia pretendem que os VEs carreguem nos períodos de menor custo de energia, evitando a compra de energia em períodos mais dispendiosos.

Neste contexto, esta dissertação aborda o problema de modelação de tarifas de energia horárias com vista a incentivar a mudança do comportamento do carregamento dos VEs. Mais precisamente, diferentes tarifas elétricas são modeladas com base na relação entre a geração de energia renovável, consumo de energia e o preço do mercado de energia. O caso de estudo usa a Dinamarca como referência, tirando partido da disponibilidade de informação necessária para a correta modelação de tarifas horárias. Uma das mais importantes contribuições desta dissertação reside na modelação de diferentes perfis de condução e de uso dos VEs (nomeadamente, diária, comercial e viagem única) considerando o comportamento dos utilizadores dos VEs através de uma escala de ansiedade que modela o comportamento dos utilizadores face ao preço de energia. Mais precisamente, o comportamento dos utilizadores é representado por um

termo socioeconómico capaz de definir a ansiedade dos utilizadores dos VEs face ao valor horário da tarifa elétrica.

Uma importante conclusão deste trabalho é a conceção adequada de tarifas horárias de energia com vista a reduzir os custos de energia quer para o utilizador do VE e potencialmente para o comercializador de energia. Mais precisamente, os comercializadores de energia e operadores de sistema podem utilizar a ferramenta desenvolvida para modelar esquemas tarifários que sejam capazes de suavizar a produção intermitente de fontes renováveis, bem como mover a carga de períodos de pico para períodos de vazio.

Palavras-Chave

Custo de oportunidade, geração renovável, perfis de condução, tarifas horárias de energia, veículo elétrico.

Abstract

The introduction of Electric Vehicles (EVs) as the mean of transportation is a trend that will prevail in the next years in the developed countries. The charging behavior of EVs is a key concern to system operators and retailers as it can affect the network operation and also the energy price. In fact, the uncontrolled charging of EVs, known as dumb charge, can lead to congestion and voltage problems in the network, especially at the distribution level. In this way, system operators are looking for ways to motivate the smart charging of EVs in order to mitigate their negative impact in the system. In parallel, system operators and retailers may profit from the handling of EVs as flexible loads. The former has interest to move their charging into periods without congestion and voltage problems. Similarly, the latter wants them to only charge at periods when energy is cheaper.

In this scope, this dissertation addresses the problem by modelling a real-time tariff to encourage flexible EVs charging owners to charge in convenient periods. More precisely, different electricity tariffs are proposed based on the relation between renewable power generation, load consumption and spot price of the energy market. The tool developed uses Denmark as showcase, taking advantage of the easy access of information needed to develop the proposed tariffs in real-time context. One of the main contributions of this dissertation is the modelling of different profiles of EVs usage (e.g., commute, commercial and single trip behaviors) under different scales of users' sensibility to the electricity prices. More precisely, a socioeconomic term that defines the anxiety of EVs users' to be responsive to the tariffs is proposed.

An important conclusion of this work is that a proper real-time tariff design can reduce the energy costs for the EVs and potentially to the retailer. More precisely, retailers and system operators can use this tool to model tariffs schemes that smooth the intermittent production of renewable energy, as well as to shift the consumption from peak to off-peak hours.

Keywords

Electric vehicle, driving patterns, opportunity cost, real-time tariff, renewable generation.

Índice

Agradecimentos	ix
Resumo	xi
Abstract.....	xiii
Índice de Figuras.....	xviii
Índice de Tabelas	xx
Abreviaturas e Siglas	xxii
Nomenclatura.....	xxiv
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Publicações.....	4
1.4 Organização da Dissertação	4
2 Visão geral da tarifação de Veículos Elétricos	6
2.1 Tarifação de energia elétrica adequadas aos VEs	7
2.1.1 Esquemas tarifários para VEs em vigor.....	7
2.1.2 Modelo de Negócio inovador – <i>Share & Charge</i>	13
2.2 Perfil de condução em VEs	14
2.2.1 Perfis de condução de utilização diária na Austrália	14
2.2.2 Perfis de condução de utilização diária na Alemanha	16
2.2.3 Perfis de condução de utilização diária na Dinamarca	17
2.2.4 Perfis de condução de utilização diária na Suécia	18
2.3 Metodologia de tarifação para VEs.....	21
3 Modelo de Tarifação para Carregamento de Veículos Elétricos	26

3.1	Descrição do Problema.....	26
3.2	Metodologia Proposta	29
3.2.1	Perspetiva do Proprietário do VEs.....	29
3.2.2	Modelação de Comportamento Socioeconômico para os VEs	31
3.2.3	Caracterização das Tarifas de Energia Elétrica	32
4	O Caso da Dinamarca	36
4.1	Caracterização e Análise de VEs	37
4.1.1	Extração de Dados	37
4.1.2	Tratamento de Dados	38
4.1.3	Análise de Dados / Extração de Conhecimento.....	39
4.2	Perfis de Condução.....	42
4.3	Tarifas de Energia Elétrica.....	44
4.4	Resultados	46
4.5	Conclusão.....	51
5	Conclusões e Trabalho Futuro	53
5.1	Principais Conclusões e Contribuições	53
5.2	Perspetivas de Trabalho Futuro.....	56
6	Referências Bibliográficas.....	57

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Sistema de carregamento Combo.....	10
Figura 2.2 – Diagrama de comunicação entre utilizadores e postos de carregamento, <i>Share & Charge</i>	13
Figura 2.3 – Relação entre distância percorrida e dia de utilização (em %), para VEs e VCs na Dinamarca [25].	17
Figura 2.4 – Quilómetros anuais percorridos por VEs e VCs por família [27].	19
Figura 2.5 – Distribuição das distâncias de condução para os VEs e veículo substituído metodologias de tarifação para VES [27].	20
Figura 2.6 – Cronograma de preços do <i>EcoGrid</i> [30].	22
Figura 3.1 – Esquema de carregamento de VEs através de incentivos económicos do mercado.....	28
Figura 3.2 – Exemplo de modelação de tarifas de energia elétrica com base no rácio entre geração e consumo Real-Time Tariffs for Electric Vehicles [36].	34
Figura 4.1 – Plataforma online de todos os registos de veículos na Dinamarca.....	37
Figura 4.2 – Base de dados de VEs extraídos para Excel.	38
Figura 4.3 – Base de dados PHEV.....	38
Figura 4.4 – Base de dados BEV.	39
Figura 4.5 – N° Total de Veículos PHEV na Dinamarca.	40
Figura 4.6 – N° Total de Veículos BEV na Dinamarca.....	40
Figura 4.7 – Distribuição da capacidade das baterias por todos os VEs.....	41
Figura 4.8 – Distribuição das baterias para o Tesla Model S.	42
Figura 4.9 – Distribuição da distância percorrida dos VEs, baseando em [30].	44

Figura 4.10 – Definição de tarifas elétricas tendo em conta a relação entre o spot price e o WF em 2017, na Dinamarca.	45
Figura 4.11 – Carregamento dos VEs consoante as diferentes tarifas adotadas para o período de 1 de Janeiro a 7 de Janeiro.	46
Figura 4.12 – Carregamento dos VEs consoante o WF entre 1 a 7 de Janeiro.	47
Figura 4.13 – SOC (State-of-Charge) médio no período de 1 a 7 de Janeiro.	48
Figura 4.14 – Carregamento dos VEs por perfil de condução entre 1 a 7 de Janeiro.	49

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Tarifas para VEs na Alemanha.	8
Tabela 2.2 – Tarifas para VEs na Dinamarca.	9
Tabela 2.3 – Tarifas para VEs em França.	10
Tabela 2.4 – Tarifas para VEs em Portugal.	11
Tabela 2.5 – Tarifas para VEs no Reino Unido.	12
Tabela 2.6 – Descrição do uso de VEs e viagens acumuladas ao longo de 2 anos [21]..	15
Tabela 2.7 – Parâmetros de condução e estatística [24].	16
Tabela 2.8 – Dias de adaptação por mês necessário para o uso de VE [27].	18
Tabela 2.9 – Comparação da distância total de condução de um agregado familiar para VEs e VCs[27].	19
Tabela 2.10 – Tarifas TOU e probabilidade de aceitação [32].	23
Tabela 3.1 – Perfil socioeconômico para os VEs.	31
Tabela 4.1 – Custos ao longo do ano e índice para avaliação do carregamento dos VEs.	50
Tabela 4.2 – Custo anual de carregamento dos VEs com e sem modelo socioeconómico.	50

Abreviaturas

Notação	Descrição
BEV	– <i>Battery electric vehicle</i>
BT	– <i>Baixa Tensão</i>
CHP	– <i>Combined Heat and Power</i>
CTW	– <i>Coordination Time Window</i>
DRA	– <i>Days Requiring Adaptation</i>
DT	– <i>Dynamic Distribution System Tariff</i>
GPS	– <i>Global System Position</i>
IRVE	– <i>Infraestruturas de Recarga para VEs</i>
MT	– <i>Média Tensão</i>
OPC	– <i>Operador Posto de Carregamento</i>
PHEV	– <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
QoE	– <i>Quality of Experience</i>
SOC	– <i>State-of-Charge</i>
ToU	– <i>Time of Use</i>
TS-ToU	– <i>Two Stage Time of Use</i>
VC	– <i>Veículo Convencional</i>
VE	– <i>Veículo Elétrico</i>
VKT	– <i>Vehicle kilometers Travelled</i>

Nomenclatura

Notação	Descrição
$\eta_{Ch(ev)}$	– Eficiência de carregamento do veículo ev
$SOC_{(ev,t)}$	– Nível de energia na bateria – <i>State-of-charge</i>
$E_{(ev,t)}^+$	– Nível de energia superior às necessidades energéticas esperadas, no último período do dia, para o veículo ev
$E_{(ev,t)}^-$	– Nível de energia inferior às necessidades energéticas esperadas, no último período do dia, para o veículo ev
$E_{BatCap(ev)}$	– Capacidade máxima da bateria do veículo ev
$E_{MinCharge(ev)}$	– Capacidade mínima da bateria do veículo ev
$E_{Trip(ev,t)}$	– Energia despendida em viagem pelo veículo ev , no período t
$E_{Trip(ev)}^{Expected}$	– Necessidade de energia esperada nas primeiras horas do dia seguinte, para o veículo ev
$p_{(t)}$	– Tarifa de energia elétrica no período t
$P_{(ev)}^+$	– Penalidade por excesso de energia acumulada no último período do dia para o veículo ev , (custo de oportunidade)
$P_{(ev)}^-$	– Penalidade por défice de energia no último período do dia para o veículo ev
$P_{Ch(ev,t)}$	– Carregamento do veículo ev , no período t
$P_{Ch(ev)}^{Max}$	– Capacidade de carregamento máximo do carregador do veículo ev
$X_{(ev,t)}$	– Estado do veículo ev em relação à rede elétrica, no período t . 0 – desligado; 1 – ligado

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

A utilização de Veículos Elétricos (VEs) tem crescido gradualmente em vários países com o intuito de reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) no sector do transporte [1][2]. De facto, a taxa de penetração de VEs está numa fase de evolução e, portanto, os incentivos fiscais são essenciais para aumentar ainda mais a sua comercialização. Adicionalmente, a tecnologia das baterias dos VEs está em continua evolução permitindo um significativo aumento da sua autonomia, considerando o mesmo preço e peso final. Isto incentiva os utilizadores comuns de veículos a combustão a adotarem VEs.

O futuro do transporte individual e coletivo passa pela massificação dos VEs que podem ser vistos como um recurso energético quando ligados à rede elétrica. De facto, os VEs podem representar uma oportunidade de mudança de paradigma, avizinhandose alguns desafios. Um dos grandes desafios reside no carregamento descoordenado e simultâneo dos VEs. Isto é, a rede pode ficar congestionada quando muitos VEs carregam simultaneamente sem qualquer controlo. Este fenómeno é conhecido conhecido como *dumb charge* [3]. Esta é aliás uma das grandes preocupações na literatura, visto que o

comportamento humano da maior parte dos consumidores de energia elétrica demonstra pouca sensibilidade para os problemas que os VEs podem causar.

Não obstante, os utilizadores dos VEs podem ser flexíveis e carregar os veículos em períodos de vazio (normalmente durante a noite) ou em períodos de forte produção renovável, usando essa energia para suprir as necessidades de deslocação. Este comportamento é denominado de *smart charging* [4][5]. Para tal, duas abordagens distintas são normalmente adotadas: (i) controlo direto do carregamento dos VEs, e (ii) controlo indireto do comportamento do utilizador por tarifas de energia elétrica. O controlo direto do carregamento do veículo, implica que entidades como o operador da rede, agregadores de energia e comercializadores de energia controlem o horário e nível de carregamento do VE, tendo por base metodologias de escalonamento energético. Uma correta e eficiente implementação desta abordagem requer um sistema de comunicação direto e eficiente, capaz de suportar o controlo total do VE [6]. Esta é uma metodologia intrusiva e de certa forma limitativa do comportamento do utilizador do VE. Por outro lado, o controlo por incentivos económicos do comportamento do utilizador pode ser feito pela atribuição de tarifas horárias, modificadas em cada hora, tendo por base os custos de produção, principalmente a de origem renovável. Isto é, os utilizadores de VEs são mais propícios a mudar o seu comportamento de carregamento por uma tarifa horária de energia que segue a produção renovável, do que perante uma tarifa fixa em que lhes é indiferente o período de carregamento. Mais precisamente, os VEs podem fazer *smart charging* carregando nos períodos de menor tarifa, que poderão ser os períodos de maior produção renovável e menor congestionamento da rede. Uma das principais vantagens deste tipo de controlo reside na sua facilidade de aplicação em contexto real, requerendo muito menos recursos de comunicação e controlo comparativamente ao controlo direto. Assim, operadores de sistema, agregadores e comercializadores de energia terão uma menor necessidade de equipamento e investimento, a fim de obterem o desejado comportamento de flexibilidade por parte dos utilizadores de VEs. Um dos inconvenientes deste tipo de controlo reside na incerteza da resposta dos consumidores em aderirem às mesmas. Assim, a correta modelação das tarifas é essencial para o sucesso das mesmas.

Neste contexto, esta dissertação debruça-se no estudo aprofundado da metodologia de controlo de VEs tendo por base de tarifas horárias de energia elétrica, contribuindo para o contínuo aperfeiçoamento desta abordagem.

A principal contribuição reside no desenvolvimento de tarifas de energia elétrica baseadas na relação entre o preço do mercado de energia e o fator de energia eólica (*wind factor* – WF), utilizado habitualmente em estudos do sistema elétrico com grande penetração de energia eólica. Mais precisamente, o WF é utilizado na Dinamarca devido à elevada preponderância deste recurso energético no mix de produção. O WF é o rácio entre a produção de energia eólica e o diagrama de cargas sem consideração da carga dos VEs. Deste modo, as tarifas horárias são modeladas de acordo com o perfil de produção eólica e o preço de energia praticado no mercado diário.

Uma outra importante contribuição é a modelação de diferentes perfis de utilização dos VEs (por exemplo, viagem diária, uso comercial e viagem única) sobre o efeito colateral de reação socioeconómico dos utilizadores às tarifas. Esta reação do utilizador é modelada através de uma escala de sensibilidade utilizada na psicologia para o estudo do comportamento humano.

Esta dissertação culmina na implementação da metodologia proposta através do dimensionamento de várias tarifas horárias de energia e respetivo teste e validação num caso de teste baseado em valores obtidos para a Dinamarca. Mais precisamente, o estudo do caso, considera a atual base de dados de VEs existentes na Dinamarca, considerando entre outras características, a capacidade energética de cada VE.

1.2 OBJETIVOS

Os benefícios da massificação do uso de VEs são notórios no que respeita ao decréscimo das emissões de CO₂. Contudo, estes irão ter um impacto considerável nos diagramas de cargas atuais e na rede de distribuição, principalmente de MT e BT. Neste sentido, os operadores da rede de distribuição terão de desenvolver técnicas de gestão de recursos para lidar com o aumento significativo da carga a curto prazo. Por outro lado, os comercializadores de energia terão de desenvolver tarifas que incentivem os utilizadores dos VEs a carregarem os mesmos em situações mais vantajosas para os comercializadores e próprios operadores de rede.

Neste contexto, esta dissertação oferece uma grande contribuição na modelação de tarifas de energia elétrica para utilizadores de VEs, sendo facilmente aplicáveis no atual contexto regulatório da maior parte dos países desenvolvidos. A consideração do comportamento socioeconómico dos utilizadores de VEs é também uma importante contribuição desta dissertação.

Neste sentido, os objetivos específicos definidos para esta dissertação englobam:

- Conceção e desenvolvimento de modelos de tarifas elétricas direcionadas para os utilizadores de VEs;
- Integração de mecanismos socioeconómicos para premeditação do comportamento dos utilizadores de VEs face às tarifas desenhadas;
- Análise da modelização de diferentes tarifas através de mecanismos de avaliação de justiça (por exemplo: o mecanismo *quality of experience*);
- Desenvolvimento de metodologia de simulação adequada ao contexto dos operadores de rede e comercializadores de energia.

1.3 PUBLICAÇÕES

O trabalho desenvolvido resultou em um artigo científico aceite e publicado na *13th IEEE PowerTech Conference*. Este artigo pode ser referenciado através:

Tiago Soares, Carlos Fonseca, Hugo Morais, Sérgio Ramos and Tiago Sousa, “Assessment of real-time tariffs for electric vehicles in Denmark”, *13th IEEE PowerTech*, Milan, Italy, 23-27 June, 2019.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos. Além do presente capítulo introdutório que descreve o âmbito, objetivos do trabalho e a organização do documento, a estrutura desta dissertação inclui quatro outros capítulos descritos de seguida.

O capítulo 2 expõem os atuais esquemas tarifários de carregamento de VEs em vários países, comparando as suas características e motivações. Adicionalmente, é feito um levantamento de metodologias de tarifação de carregamento de VEs, tendo por base a

massificação do uso dos VEs. Para além disso, são descritos e analisados vários perfis de condução e utilização dos VEs incidindo a influência dos mesmos nas necessidades energéticas dos utilizadores.

O capítulo 3 descreve, pormenorizadamente, o problema de modelização de tarifas elétricas adequadas ao carregamento de VEs. Este capítulo apresenta a ferramenta desenvolvida para a modelação, análise e comparação de diferentes tarifas elétricas de perfil horário. A caracterização de diferentes tarifas inclui a modelização de comportamento socioeconómico dos utilizadores dos VEs na perspetiva do utilizador.

O capítulo 4 apresenta um estudo de caso baseado em VEs reais existentes na Dinamarca. A base de dados de VEs da entidade de registo automóvel dinamarquesa foi utilizada, tratada e analisada, tendo sido extraída informação e conhecimento sobre as preferências dos dinamarqueses em VEs. A caracterização das tarifas elétricas segue uma relação do rácio entre energia renovável e consumo combinado com o preço de mercado. Os perfis de deslocação dos VEs são também reais, baseados em dados obtidos num projeto dinamarquês¹.

O capítulo 5 apresenta as conclusões mais importantes que resultaram do trabalho desenvolvido, acrescido de ideias para trabalho futuro que surgiram ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

¹ PARKER project. <https://parker-project.com/>

2 VISÃO GERAL DA TARIFICAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Na última década, tem-se assistido a um contínuo aumento da penetração de VEs nos países desenvolvidos. Este crescente aumento, tem vindo a ser sustentado em parte pelos avanços tecnológicos e pelos incentivos governamentais para a compra dos VEs. Neste paradigma, surgiu, em vários países, a necessidade de criar um esquema tarifário para a energia elétrica adequadas ao consumo de energia por parte dos VEs. Inicialmente, em vários países iniciou-se a construção de infraestrutura de postos de carregamento com uso gratuito para os utilizadores. Atualmente, o cenário mudou de figura e, portanto, os utilizadores têm agora de pagar uma tarifa que pode depender do posto de carregamento, do tipo de carregamento e do comercializador de energia elétrica.

Este capítulo apresenta os modelos tarifários de energia elétrica adaptados para os utilizadores de VEs em vários países. Além disso, é executada uma revisão da literatura no que se refere aos possíveis modelos de tarifação futuros, e respetiva influência dos perfis de condução nestes modelos. O capítulo termina com o estudo das metodologias de tarifação

mais recentes, servindo de inspiração para a modelação de uma nova metodologia de tarifação para o carregamento de VEs abordado no capítulo consequente.

2.1 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ADEQUADAS AOS VES

2.1.1 ESQUEMAS TARIFÁRIOS PARA VES EM VIGOR

O carregamento dos VEs em casa é uma das soluções mais cómodas para muitos dos proprietários dos VEs, pois a conveniência de carregar as baterias durante a noite e acordar com o veículo totalmente carregado é muito familiar para um grande número de proprietários.

Todavia, embora carregar o VE em casa seja mais barato que o custo do combustível para um veículo convencional (VC), significa que a conta de eletricidade aumentará, o que leva muitos dos proprietários dos VEs a procurar formas de minimizar os seus custos e maximizar a sua rentabilidade.

Em resposta a esta procura, e com o intuito de incentivar os proprietários dos VEs a carregarem os veículos fora dos horários de pico, vários comercializadores de energia introduziram tarifas de energia adaptadas especificamente para os utilizadores dos VEs. Normalmente, essas tarifas têm menores custos unitários durante a noite, quando a procura na de energia é menor. Existem também casos particulares em que as tarifas são complementadas por benefícios adicionais para a utilização dos VEs. Por exemplo, os espaços comerciais em França, nomeadamente, o Lidl, Auchan ou o Ikea oferecem o carregamento gratuito dos VEs, enquanto os seus utilizadores frequentam as suas lojas [7]. Estas estações de carregamento, são essencialmente uma forma de promover uma certa abordagem ambiental, fidelizando o cliente. Não existe, portanto, nenhum modelo de tarifação, uma vez que a ideia é de incentivar os clientes a consumirem na loja. Uma outra opção são os supercarregadores da Tesla, que permitem única e exclusivamente o carregamento dos modelos da Tesla dispondo de um crédito de energia que varia consoante o país.

Complementarmente, um estudo resumindo as tarifas de energia elétrica aplicadas aos VEs atualmente oferecidas em vários países, nomeadamente na Alemanha (Tabela 2.1), Dinamarca (Tabela 2.2), França (Tabela 2.3), Portugal (Tabela 2.4) e Reino Unido (Tabela 2.5).

Na Alemanha existem várias opções e modalidades para carregamento dos VEs, sendo que a Tabela 2.1 resume os comercializadores com maior impacto no mercado. De destaque surge a *Telekom* que oferece uma tarifa de carregamento para todos os postos de carregamento público, bem como os postos incluídos na rede *eRoaming* operada pela *Hubject* [8]. A fim de colocar em prática essa tarifa única, a *Telekom* fornece o aplicativo *Telekom Ladestrom*, listando mais de 9.000 pontos de recarga acessíveis ao público em toda a Alemanha [8]. Durante um período experimental, a tarifa foi fixa a 2 cent€/min, sendo posteriormente atualizada para 4 cent€/min.

Tabela 2.1 – Tarifas para VEs na Alemanha.

Alemanha		
Tarifa	Descrição	Referências
Telekom	<ul style="list-style-type: none"> Tarifa de Base Com contrato – 0,04€/Min 	[8]
The Mobility House	<ul style="list-style-type: none"> Tarifa de Base 6,068 kWh x 25.62 cents/kWh Carga Normal Contato 1 Ano – 9.46 €/Mês x 12 Meses	[9]
Tesla	Contrato anual de 400 kWh (~1600 km) de carregamento com supercarregador <ul style="list-style-type: none"> € 0.40/ min acima de 60 kW € 0.20/ min num valor igual ou inferior a 60 kW 	[10]
E-On	Tarifa doméstica VEs – Instalação Power Box e Cabo, 3,7 – 22 kW a partir de 699,00 €. Carrega 11kW, 4,5 vezes mais rápido que uma tomada doméstica.	[11]
E-Wald	Carregamento livre – 74.91 €/Mês	[12]
ENTEKA	Carregamento livre – 30 €/Mês	[12]

Na Dinamarca, existem várias tarifas que relacionam a comodidade dos utilizadores com o carregamento dos VEs (ver Tabela 2.2). Existem tarifas por kWh e tarifas por carregamento ou mensal, onde a quantidade de energia carregada não é contemplada. Por exemplo, a *E-ON* tem uma tarifa por carregamento único do veículo, enquanto a *Clever* possui uma tarifa mensal que é fixa independentemente do consumo de energia [13][14]. Por outro lado, a *Clean Charge* possui uma tarifa de acordo com o tipo e frequência de utilização do

veículo [15]. É de salientar que os principais comercializadores de energia não possuem tarifas domésticas pré-estabelecidas para veículos, pois os preços de energia na Dinamarca variam de região para região, tornando difícil a sua uniformização.

Tabela 2.2 – Tarifas para VEs na Dinamarca.

Dinamarca		
Tarifa	Descrição	Referências
Clean Charge	<ul style="list-style-type: none"> Tarifa carga frequente de 3.25 DKK/kWh com taxa mensal de 0,99 DKK≈0.13€/kWh Tarifa moderada de 5.25 DKK/kWh≈0.70€/kWh sem taxa mensal Tarifa empresarial para empresas que desejam configurar um carregador para funcionários. 	[15]
E-On e EasyPark	<ul style="list-style-type: none"> Tarifa de 5.40 DDK/kWh≈0.72 €/kWh Tarifa carregamento completo 249 DKK ≈ 33€ Estacionamento Easy Park Gratuito	[13]
CLEVER	Tarifa mensal de 599 DKK ≈ 80€ por mês	[14]
Tesla	Tarifa de 3.22 DKK/kWh ≈0.43€/kWh	[16]

Em França, como em grande parte dos países da União Europeia, os postos de carregamento públicos encontram-se abrangidos por uma norma que exige que cada um destes estejam equipado com uma tomada doméstica tipo E/F, para o carregamento lento ou normal. Enquanto que o carregamento rápido, pode ser disponibilizado por três tipos de tomadas atualmente utilizados por diferentes fabricantes de VEs. O modelo Tipo 2 prevaleceu, especialmente na Renault e na Tesla, mas há também outros dois modelos mais comuns: a tomada “Combo” ilustrada na Figura 2.1 e usada por fabricantes alemães (BMW, Volkswagen, Daimler, Audi, etc.) e a tomada “CHAdemo” usada pelos fabricantes japoneses (Nissan e Toyota) [17].

Desde o decreto de infraestruturas de recarga para VEs (IRVE), esses três sistemas existem na Europa através do que é chamado de *tri-standard (Ionty combined charging system – Combo)* que impõe a presença obrigatória de três tomadas em cada terminal público. Este compromisso de utilização, foi encontrado por falta de uma solução universal. Em França

o *tri-standard* deve ser obrigatório até 2024. Sabendo que, em média, um terminal tem uma vida útil de dez anos, este deve ser eficaz até 2034[17]. Graças a este sistema, os proprietários dos VEs, irão sentir-se mais confiantes, pois todos os postos de carregamento franceses se adaptam a todos os modelos híbridos, elétricos e puros elétricos no mercado [17].



Figura 2.1 – Sistema de carregamento Combo.

Em França, várias modalidades de pagamento são disponibilizadas, como se pode verificar na Tabela 2.3. Existem tarifas com preço fixo por kWh, dependendo da hora do dia, bem como tarifas ao minuto, estas últimas aplicadas ao carregamento rápido e que dependem do tempo de carregamento.

Tabela 2.3 – Tarifas para VEs em França.

França		
Tarifa	Descrição	Referências
wall-box	Tarifa doméstica: <ul style="list-style-type: none"> • Horas de Vazio 0.125 €/kWh • Horas de Ponta 0,146 €/kWh 	[7]
Corri-Door (Grupo EDF)	0.50 a 0.70 €/5 minutos de carga	[7]
Bélib (Paris)	0.25 €/15 minutos para a primeira hora, 4 €/15 minutos a partir da primeira hora de carga	[7]
CNR (Rhônes Alpes)	5 €/45 minutos de carga até 50kW	[7]; [17]
Autolib (Ile de France)	15 € Inscrição, 1 €/h para a primeira hora, 3 €/h a partir da primeira hora de carga limitado a 3kW das 22:00h às 07:00h	[7]

Em Portugal, as tarifas destinadas a VEs consideram ambas as vertentes de carregamento consoante o tempo e consumo energético, como demonstrado na Tabela 2.4. A

fim de tentar cativar clientes, a *Galp* para os seus clientes domésticos que passem também a ser seus clientes na mobilidade elétrica (ou vice-versa), esta ofereceu 1500 kWh nos postos de carregamento rápido até 30 de abril 2019 (valor por contrato) ao utilizar o cartão GalpElectric [18]. Quem estiver nessa situação, só terá de pagar o uso do posto de carregamento rápido ao operador do posto de carregamento. A eletricidade foi gratuita, durante seis meses (de 1 de novembro de 2018 até 30 de abril de 2019) [18]. De acordo com a Tesla, em Portugal, após os primeiros 400 kWh, que são gratuitos, o preço será de 0,24€/kWh com um contrato (o mesmo preço se encontra em vigor em Espanha) [19]. No caso da Mobi.E, o custo do carregamento é de zero, para antigos clientes, mas sendo pago a partir de 1 de novembro de 2018 [20].

Tabela 2.4 – Tarifas para VEs em Portugal.

Portugal		
Tarifa	Descrição	Referências
Super carregadores Tesla	<ul style="list-style-type: none"> • Contrato anual de 400kW/h, os primeiros 400kw são gratuitos, depois custo de 0.24 €/h. • Sem contrato – 0.59 €/kWh 	[19]
GALP PRIO	Tarifa bi-horário (fora de vazio) a 3,44€/30 minutos	[18]
GALP EDP	Tarifa bi-horário (fora de vazio) a 5,28€/30 minutos	[18]
GALP Mobi.E	Tarifa bi-horário (fora de vazio) a 5,39€/30 minutos	[18]
GALP	Tarifa bi-horário (fora de vazio) a 7,03€/30 minutos	[18]
GALP CEPSA	Tarifa bi-horário (fora de vazio) a 8,97€/30 minutos	[18]
EDP Comercial	Carregamento inicial a 0,184€ Tarifa entre 0,110 – 0,123€ /kWh	[18]
EV Power	Carregamento a 0,117€ /kWh	[18]
EVCE	Carregamento Inicial a 0,660 € Tarifa a 0,083€ /minuto Tarifa a 0,033€/kWh	[18]

No Reino Unido, os mais variados comercializadores de energia disponibilizam tarifas adequadas aos VEs, como mostra a Tabela 2.5. Na generalidade, aos comercializadores fornecem tarifas por kWh, sendo que existe algumas exceções como a Ecotricity que tem uma

tarifa por carregamento completo do VE. Uma grande parte dos comercializadores esclarece que a energia utilizada para carregamento dos VEs é contratada a centrais de produção renovável, garantindo desta forma o subsídio a este tipo de recursos energéticos, mantendo as recentes políticas de redução de emissões de CO₂.

Tabela 2.5 – Tarifas para VEs no Reino Unido.

Reino Unido		
Tarifa	Descrição	Referências
Super carregadores Tesla	Tarifa a 0.17 £/kWh (\approx 0.19 €/kWh) + 3 £ por cada carga inicial, a um custo total de 8.1 £ (9 €) para 30 kWh (0.30 €/kWh)	[1]
British GAS	Tarifa <i>Electric Drivers Energy Plan Sep 2021</i> Tarifa em horas de vazio 0,047£/kWh \approx 0,055€/kWh Tarifa em horas de pico a 0,20£/kWh \approx 0,24€/kWh	[21]
Ecotricity	Tarifa <i>Fully Charged</i> Fornecimento 100% renovável. Tarifa em horas de vazio 0,103£/kWh \approx 0,12€/kWh (24h-5h) Tarifa em horas de pico a 0,175£/kWh \approx 0,21€/kWh	[21]
EDF Energy	Tarifa <i>GoElectric Jan2021</i> Tarifa em horas de vazio 0,08£/kWh \approx 0,094€/kWh (21h-7h) Tarifa em horas de pico a 0,16£/kWh \approx 0,19€/kWh	[21]
Good Energy	Tarifa <i>EV Driver 3</i> , Fornecimento 100% renovável Tarifa em horas de vazio 0,131£/kWh \approx 0,15€/kWh Tarifa em horas de pico a 0,198£/kWh \approx 0,23€/kWh	[21]
Octopus	Tarifa <i>Octopus GO</i> Tarifa em horas de vazio 0,05£/kWh \approx 0,059€/kWh Tarifa em horas de pico a 0,133£/kWh \approx 0,16€/kWh	[21]
OVO Energy	Tarifa <i>EV Everywhere</i> , Fornecimento 100% renovável Tarifa em horas de vazio 0,109£/kWh \approx 0,13€/kWh Tarifa em horas de pico a 0,187£/kWh \approx 0,22€/kWh	[21]
ScottishPower	Tarifa <i>SmartPower EV</i> Fornecimento 100% renovável. Tarifa em horas de vazio 0,047£/kWh \approx 0,056€/kWh (24h-5h) Tarifa em horas de pico a 0,192£/kWh \approx 0,23€/kWh	[21]
Tonik	Tarifa <i>Charge EV</i> Fornecimento 100% renovável. Tarifa em horas de vazio 0,094£/kWh \approx 0,11€/kWh Tarifa em horas de pico a 0,168£/kWh \approx 0,20€/kWh	[21]
E-On	Tarifa Standard Fix & Drive 0,182£/kWh \approx 0,21€/kWh	[21]

2.1.2 MODELO DE NEGÓCIO INOVADOR – *SHARE & CHARGE*

O *Share & Charge* é uma arquitetura descentralizada para o carregamento dos VEs, permitindo transações e partilha de dados entre VEs. O modelo de negócio reside na criação e exploração dessa rede que permite aos utilizadores de VEs carregar os seus VEs em qualquer posto de carregamento público ou privado dentro dessa rede, como se pode observar na Figura 2.2.

Os operadores dos postos de carregamento, os provedores de serviços de mobilidade e os operadores da rede podem integrar facilmente o *Share & Charge* e, portanto, oferecer aos seus utilizadores uma experiência de carregamento inteligente e segura.

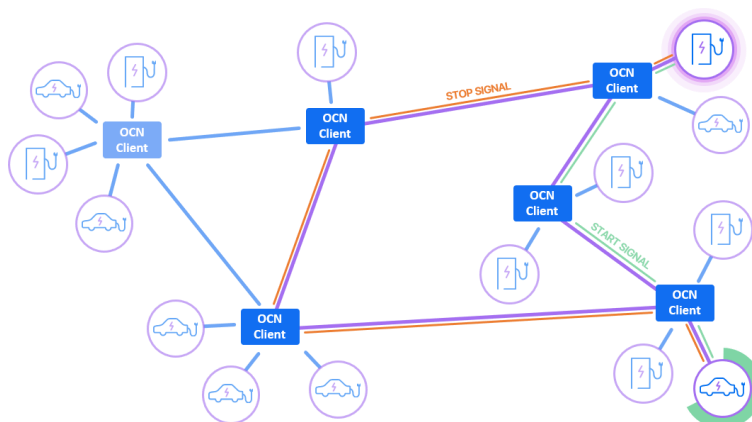


Figura 2.2 – Diagrama de comunicação entre utilizadores e postos de carregamento, *Share & Charge*.

A aplicação foi um dos primeiros produtos de mobilidade baseado em *Blockchain*, implementado em contexto real, permitindo que os proprietários dos postos de carregamento ou utilizadores dos VEs tivessem uma participação ativa na criação do futuro da mobilidade. Mais precisamente, esta rede *peer-to-peer* tem mais de 1000 utilizadores registados e incluiu aproximadamente 1250 postos de carregamento na Alemanha. A aplicação é habitualmente vista como o *AirBnB* dos postos de carregamento, onde os utilizadores podem usufruir pela primeira vez uma rede de postos de carregamento privadas, bem como postos de carregamento públicos. De facto, esta aplicação foi desenhada com o intuito de acelerar a expansão da infraestrutura de carregamento na Alemanha de forma rápida e confiável. Assim, o aplicativo fornece uma interface para o *Blockchain*, que permite aos proprietários de VEs encontrar convenientemente postos de carregamento privados e públicos, e pagar o uso do posto de carregamento de forma simples e segura segurança garantidas através das propriedades da

tecnologia. Os proprietários dos postos de carregamento podem definir as suas próprias tarifas (taxa fixa, baseada em tempo ou baseada em kWh) e altera-la a qualquer momento. Contudo, o *Share & Charge* executa todos os processos de faturação de forma transparente e simples.

Atualmente, este modelo foi expandido para a Califórnia através de uma parceria entre a *Share & Charge* com a *eMotorWerks*, líder em soluções de carregamento. O programa de teste foi inicialmente executado de agosto a novembro de 2017, permitindo que os proprietários dos postos de carregamento criados pela *eMotorWerks* compartilhassem seus postos com outros utilizadores de VEs e fossem pagos por esse serviço.

2.2 PERFIL DE CONDUÇÃO EM VES

A mobilidade elétrica é vista como um dos principais meios para melhorar a eficiência energética e reduzir as emissões de CO₂ no setor dos transportes. Contudo, existem vários fatores que influenciam o consumo de energia, mas nem todos são facilmente modelados. Um dos principais fatores é o perfil de condução dos utilizadores dos VEs. Utilizadores com condução preventiva e segura têm maior probabilidade de despender menos energia para o mesmo percurso, quando comparado com um condutor com condução agressiva. Assim, e para uma correta avaliação das necessidades energéticas média dos condutores, torna-se importante identificar e avaliar diferentes perfis de condução, que podem depender de várias características intrínsecas e extrínsecas a cada condutor.

2.2.1 PERFIS DE CONDUÇÃO DE UTILIZAÇÃO DIÁRIA NA AUSTRÁLIA

Entre janeiro de 2010 e dezembro de 2012, um estudo sobre o uso de 11 VEs de uma empresa, considerando 23 postos de carregamento foi elaborado por [22]. Este estudo teve como princípio básico avaliar a capacidade e adaptabilidade de operários da empresa em utilizar VEs não só para o desenrolar da atividade da empresa, mas também para uso fora do expediente. Mais precisamente, uma parte dos VEs eram utilizados para usufruto privado do colaborador da empresa, sendo permitido a sua utilização durante os fins de semana. Embora os VEs usados fossem semelhantes aos VCs, estes ainda eram de uma tecnologia recente, o que exigia uma certa aprendizagem do utilizador sobre o carregamento do VE, restrições de alcance, etc.

Durante o estudo, a maioria dos utilizadores dos VEs, não foram reembolsados pelo uso do carregamento nas suas residências, e o carregamento na empresa era gratuito encorajando o utilizador a carregar o VE no trabalho ou nos postos de carregamento públicos gratuitos.

Tabela 2.6 – Descrição do uso de VEs e viagens acumuladas ao longo de 2 anos [21].

VEs	Utilizador único ou múltiplo	Leva o VE para casa	Utilização fim de semana	Viagens fim de semana (%)	Distância fim de semana (%)	Nº de Viagens	Média tempo viagem (min)	Média da distancia da viagem (km)	Distância diária (km)	Distancia entre carregamentos (km)
1	Múltiplo	Sim	Sim	3,97	3,40	462	19,2	9,22	29,02	16,91
2	Múltiplo	Sim	Não	0,00	1,54	430	19,63	9,59	13,82	41,19
3	Único	Sim	Sim	14,38	14,56	1121	13,56	7,77	21,71	21,12
4	Múltiplo	Não	Sim	3,83	1,60	339	22,16	13,46	11,9	21,46
5	Múltiplo	Não	Sim	3,83	3,76	1151	11	5,29	15,64	19,48
6	Múltiplo	Não	Sim	4,67	5,65	782	14,32	5,36	29,56	30,83
7	Múltiplo	Não	Não	0,00	0,00	250	12,22	5,43	8,01	17,11
8	Múltiplo	Não	Não	0,36	1,62	856	16,39	7,35	18,69	47,85
9	Múltiplo	Não	Não	0,00	0,00	201	18,43	7,14	26,61	10,66
10	Único	Sim	Sim	27,67	16,84	2180	21,31	12,23	50,86	40,23
11	Múltiplo	Sim	Sim	5,04	3,66	1088	15,05	7,86	14,9	13,63
Média	–	–	–	–	–	805	16,65	8,6	22,3	24,86

A Tabela 2.6 descreve todos os fatores considerados no estudo, tendo estatísticas relativas à distância média, distância diária e a distância entre carregamentos para cada VE. De salientar que em 2010, a distância média percorrida por um veículo de passageiros para as empresas na Austrália foi de 11.700 km por ano ou 32 km por dia [23]. No entanto, a distância media percorrida pelos VEs deste estudo rondou os 22,3 km [21].

Não obstante, o estudo demonstra que o desempenho do VE em termos de duração de carga depende do utilizador, não permitindo determinar um padrão consistente do perfil de utilização. De salientar que os VEs com um único utilizador têm maior média diária de quilómetros percorridos, devido à consistência de utilização. Neste sentido, estes dois VEs poderão ser utilizados para extrair um perfil típico de uso quotidiano de um utilizador.

2.2.2 PERFIS DE CONDUÇÃO DE UTILIZAÇÃO DIÁRIA NA ALEMANHA

Entre 2014 e 2015, um estudo de utilização de 4 VEs (Mitsubishi i-MiEV) equipados com sistema GPS e equipamentos de recolha de dados de energia foi implementado [24]. A aquisição dos dados foi obtida pela utilização dos VEs no contexto de dois projetos de mobilidade elétrica na região metropolitana de Estugarda, no sul da Alemanha. Cada VE foi utilizado regularmente por vários colaboradores das empresas que participaram nos projetos.

O estudo considera padrões de condução com base em 45 parâmetros que são calculados para segmentos dos perfis de condução registados. Coeficientes de correlação adequados são calculados para verificar dependências com consumo de energia. As correlações mais significativas foram encontradas para os parâmetros de velocidade e aceleração, como mostrado na Tabela 2.7. As correlações identificadas, no entanto, foram menores que o esperado, devendo-se principalmente à frenagem regenerativa. Além disso, a Tabela 2.7 mostra o consumo médio de energia dos VEs, que se verifica entre 13,1 e 16,8 kWh/100 km. A redução de consumo em relação ao consumo teórico sem frenagem regenerativa varia entre 11,6% e 16,3 %.

Tabela 2.7 – Parâmetros de condução e estatística [24].

Parâmetros	Min	Max	Média	σ
Distância total (Km)	0,04	16,98	1,34	1,67
Duração (s)	30	1067	124	116
Duração condução (s)	30	983	108	102
Média velocidade (Km/h)	1,86	99,86	35,98	18,46
Média velocidade condução (excluídos V<2km/h)	4,70	99,86	38,75	17,36
Desvio médio da velocidade	1,28	41,67	14,00	6,27
Velocidade max. (Km/h)	9,00	128	56,86	21,04
% tempo intervalo de velocidade (V<2km/h)	0,00	86,45	10,01	15,58
% tempo intervalo de velocidade (3-15km/h)	0,00	100	12,70	16,09
% tempo intervalo de velocidade (16-30km/h)	0,00	97,06	19,85	18,18
% tempo intervalo de velocidade (31-50km/h)	0,00	100	31,54	23,92
% tempo intervalo de velocidade (51-70km/h)	0,00	100	15,75	20,75
% tempo intervalo de velocidade (71-90km/h)	0,00	100	8,98	17,76
% tempo intervalo de velocidade (91-110km/h)	0,00	100	1,15	6,67
% tempo intervalo superior 110km/h	0,00	5,43	0,01	0,18

2.2.3 PERFIS DE CONDUÇÃO DE UTILIZAÇÃO DIÁRIA NA DINAMARCA

De janeiro a dezembro de 2012, 164 VEs foram distribuídos por várias famílias num projeto inovador o *Test en Elbil* na Dinamarca [25]. Os VEs foram distribuídos para substituição dos VCs a fim de se avaliar os perfis de utilização e desempenho dos VEs face às necessidades comuns dos utilizadores. Dos 164 VEs, 33 são Citroën CZero, 56 Mitsubishi i-MiEV e 75 Peugeot iOn [26]. Os VEs são praticamente idênticos, utilizando uma bateria de 16 kWh de capacidade de armazenamento de energia. Este estudo abordou uma comparação do perfil de utilização dos VEs e VCs utilizados pelas famílias.

A Figura 2.3 retrata a distância percorrida pelos VEs e VCs em função da percentagem de uso diária. Verifica-se que em mais de 99% dos dias, a distância percorrida pelos VEs é inferior a 160 km, que é o limite de autonomia dos VEs utilizados. Por sua vez, e para os mesmos 160 km de distância percorrida, apenas 86% dos VCs viajam até esse limite. Portanto, em 14% de dos dias a gama limitada de VEs não pode satisfazer as necessidades de transporte das famílias sem recarregar durante o dia.

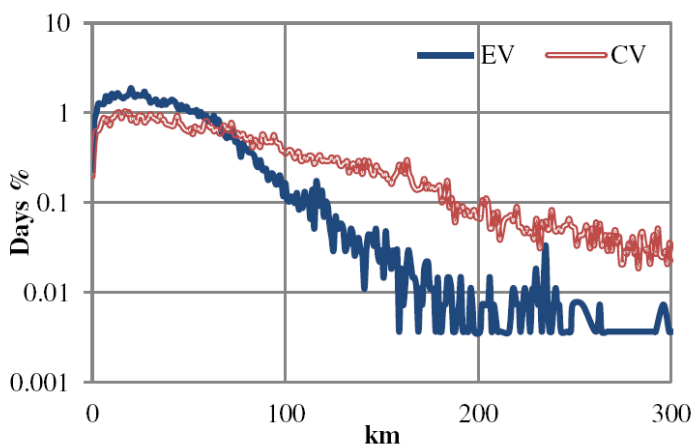


Figura 2.3 – Relação entre distância percorrida e dia de utilização (em %), para VEs e VCs na Dinamarca [25].

Desta forma, é demonstrado que a autonomia dos VEs limita o comportamento regular das famílias. Contudo, isto apenas se verifica para famílias que necessitam de deslocar-se em distancias consideráveis. Para o uso quotidiano de cidade, os VEs mostraram-se suficiente para colmatar as necessidades de maior parte das famílias.

2.2.4 PERFIS DE CONDUÇÃO DE UTILIZAÇÃO DIÁRIA NA SUÉCIA

No oeste da Suécia foi desenvolvido um estudo sobre perfis de condução, no que respeita ao uso de VEs comparativamente com o uso de VCs [27]. O estudo concentra-se em 25 famílias suecas que tiveram a possibilidade de utilizar cada uma delas um Volkswagen e-golf com capacidade de 24 kWh para substituir um dos seus VCs. O período de recolha de dados com base em medições de *Global System Position* (GPS) foi de 3 a 4 meses. Entre as 25 famílias, apenas 10 foram selecionadas para análise concreta do perfil de condução por terem dados fidedignos. O Estudo avalia a distância percorrida e adoção do VE em vez do VC. Uma característica deste estudo é que as famílias não tinham experiência anterior de utilizar um VE e, portanto, os dados recolhidos espelham um comportamento que pode ser considerado representativo da maior parte das pessoas.

Este estudo propôs um índice de adoção ao VE, chamado de *Days Requiring Adaptation* (DRA), em que avalia o número de dias em que o VE é usado num intervalo de 120 km. A Tabela 2.8 mostra o índice obtido para as 10 famílias selecionadas, onde quatro famílias não tinham DRAs, enquanto as restantes seis famílias variaram entre 0,8 a 3,6 DRA por mês. Isto implica que a família 1 teria necessitaria de 3,6 dias por mês para se adaptar a utilizar o VE, enquanto a família 10 necessitaria de aproximadamente 1 dia.

Tabela 2.8 – Dias de adaptação por mês necessário para o uso de VE [27].

Família	DRA por mês
1	3,6
2	0
3	0
4	1,6
5	0
6	0,8
7	0,4
8	0
9	3,2
10	0,92

Complementarmente, o estudo extrapola a distância percorrida pelos VEs e VCs em períodos distintos de utilização, considerando o mesmo percurso. Deste modo, consegue obter a relação entre a distância percorrida por cada família quando utiliza o VC e quando usa o VE. Pela Tabela 2.9 verifica-se que na maioria dos casos, os ajustes na distância percorrida devido

à adoção de um VE são pequenos, com três residências diminuindo a utilização do VE em comparação ao veículo substituído. Outras duas famílias mostram um aumento moderado da distância (12%) por uso dos VEs e uma família com um aumento bastante significativo (160%). Em geral, o estudo concluiu que não é possível concluir que as famílias aumentam a distância percorrida pelo uso do VE face ao veículo tradicional.

Tabela 2.9 – Comparação da distância total de condução de um agregado familiar para VEs e VCs [27].

Família	VEs	Veiculo Substituído	Aumento da Condução VE
1	65%	63%	2%
2	32%	29%	12%
3	52%	20%	160%
4	59%	59%	-1%
5	45%	47%	-4%
6	45%	42%	7%
7	50%	48%	3%
8	35%	34%	4%
9	58%	52%	12%
10	57%	63%	-8%

Similarmente, a Figura 2.4 apresenta os quilómetros anuais percorridos pelos veículos em cada uma das 10 famílias. Verifica-se que determinadas famílias percorreram mais km com o VE (*Replaced Car* na Figura 2.4) do que com o VC (*Persistent Car* na Figura 2.4), e vice-versa. Isto implica que não se pode concluir que as famílias percorram mais km com VEs do que com os VCs.

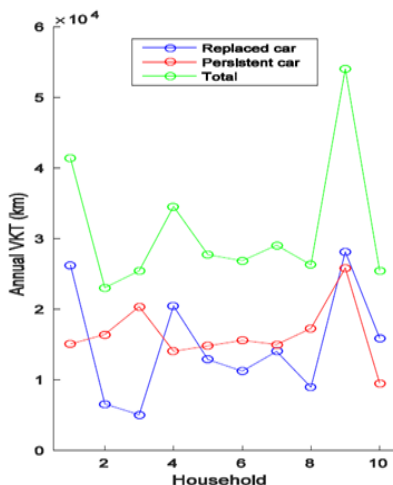


Figura 2.4 – Quilómetros anuais percorridos por VEs e VCs por família [27].

Por outro lado, a Figura 2.5 retrata a distribuição das distâncias diárias percorridas para o VE e veículo substituído para as 10 famílias. Esses resultados são exibidos como histogramas normalizados, onde a distribuição média em todas as famílias é mostrada na Figura 2.5 a), enquanto as outras figuras contêm resultados de três famílias distintas. De salientar que a cor azul se refere ao uso do VC, o castanho claro ao uso do VE e o castanho escuro à utilização sobreposta de ambos os veículos, i.e, ao longo do ano o VE e o VC são ambos utilizados para a mesma gama de distâncias a percorrer em cada viagem. Na Figura 2.5 a), existe uma tendência de o VE assumir um perfil de direção entre 40 km a 70 km. Assim, o VE reduz a quantidade de viagens de longa distância (70-140 km) do veículo substituído e aumenta o número de viagens de curta distância (0-30 km) do mesmo. Desta forma, é perceptível o efeito significativo de ansiedade de utilizar mais o VE, como mostrado na Figura 2.5 b) que retrata um exemplo de uma família, onde mantêm as mesmas distâncias tanto para o VE como para o veículo substituído. Por outro lado, as figuras Figura 2.5 c) e d) mostram famílias com significativo aumento de utilização dos VEs para umas certas distâncias em detrimento do VC, e *vice-versa*.

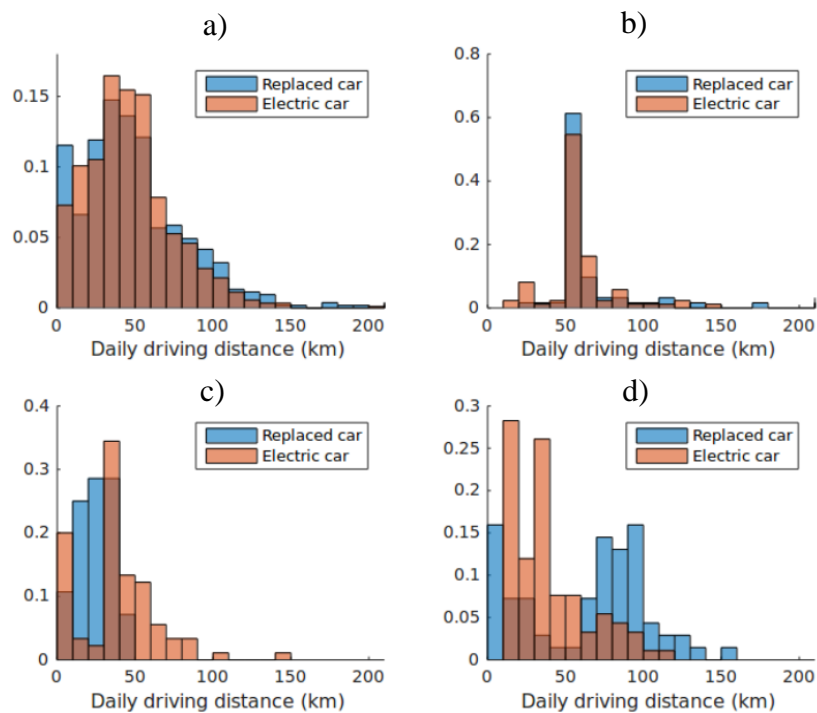


Figura 2.5 – Distribuição das distâncias de condução para VEs e veículo substituído [27].

2.3 METODOLOGIA DE TARIFICAÇÃO PARA VES

Na última década, vários modelos de tarifação dos VEs surgiram com o intuito de colmatar e mitigar o *dumb charge* dos VEs. Isto é, a utilização de tarifas horárias para o controlo indireto do comportamento de carregamento dos utilizadores dos VEs.

Neste contexto, em [28] é analisado o comportamento diário dos utilizadores de VEs face ao uso de tarifas horárias. Tarifas *time-of-use* foram modeladas considerando o impacto potencial dos VEs no posto de carregamento e na rede de distribuição, através da otimização por algoritmos genéticos. O modelo desenvolvido mostra que a carga máxima de pico do posto de carregamento é otimizada em 4,7% comparativamente a tarifas fixas. Em média, as tarifas modeladas em [28] permitem os utilizadores dos VEs minimizar os custos de carregamento até 27,17% relativamente a tarifas fixas.

Clairand *et al.* propõem um sistema tarifário para VEs com o intuito de aumentar o aproveitamento de recursos de energia renovável [29]. A metodologia consiste em modelar tarifas horárias que penalizam as horas com maiores emissões de CO₂. Desta forma, *smart charging* para os VEs é considerado com o intuito de minimizar os custos de carregamento. Os autores avaliam a metodologia considerando três cenários distintos com diferentes penetrações de energia renovável e diferentes tipos de VEs. Mais especificamente, três cenários de diferentes penetrações de energia eólica e solar são considerados. Conjuntamente, VEs com diferentes características técnicas e de perfis de uso são considerados, i.e., VEs de uso individual e coletivo, como autocarros, motociclos e táxis. O estudo conclui que os autocarros elétricos são os VEs que consomem mais energia, principalmente durante a noite, quando a produção renovável por fonte eólica é mais elevada. Deste modo e até certo ponto, o consumo de energia por parte dos VEs permite equilibrar o diagrama de cargas.

Martinenas *et al.*, propõe uma tarifa dinâmica para o *smart charging* de VEs tendo por base a resolução de problemas de congestionamento na rede elétrica [30]. A abordagem envolve a modificação do esquema padrão de carregamento dos VEs *dumb charge*, para um esquema mais otimizado que é derivado de uma visão sobre o estado atual da rede. A abordagem descrita, envolve uma estratégia de controle em tempo real para o carregamento dos VEs usando uma tarifa de preço dinâmico, com o objetivo de minimizar o custo de carregamento. A tarifa é constituída por três escalões temporais de preços:

- Preço em tempo real (o preço real da energia elétrica, previsões de preço atualizadas a cada 5 minutos);
- Preço horário (previsões de preço para a próxima hora, atualizadas uma vez por hora);
- Preço do dia seguinte (previsões de preço por hora para as próximas 24 horas, atualizada uma vez por dia).

O impacto de cada tipo de preço na tarifa final é dado pela Figura 2.6. Esta abordagem é baseada no sistema de representação em três cores, tendo em conta o congestionamento na rede. O fluxo de preços combinado é utilizado para determinar o preço real da energia elétrica e prever sua variação para as próximas 24 horas.



Figura 2.6 – Cronograma de preços do *EcoGrid* [30].

Similarmente, em [31] é proposta uma metodologia de *smart charging* em que cada proprietário de VE seleciona uma preferência tarifária. Mais precisamente, os utilizadores dos VEs podem optar por três tarifas distintas, em que é associado uma cor específica. Os utilizadores podem selecionar entre a tarifa de cor verde, azul e vermelha, com aumento de preço gradual, respetivamente. As tarifas são definidas tendo em conta o congestionamento das redes de transporte e distribuição, sendo que o utilizador seleciona a tarifa mais conveniente para o seu perfil.

Liu *et al.* propõem o uso de tarifas adaptativas ao comportamento das fontes renováveis de forma a reduzir eventuais cortes de produção de energia renovável [32]. Mais precisamente esquemas tarifários adaptativos em duas etapas TS-ToU (*Two-stage Time-of-Use*) são propostos. Os esquemas tarifários TS-ToU adaptáveis definem os tempos de tarifa mais baixa

entre diferentes grupos de VEs e usam probabilidades de execução para se adaptar ao estado do sistema considerando a oferta e procura de energia. O carregamento ótimo dos VEs incorpora um despacho económico de forma a otimizar as probabilidades de execução de três programas de tarifas distintas:

- C1 – programa de coordenação com base no ToU, em que o preço mais barato cobre os períodos fora de pico entre 22h30 e as 5h30;
- C2 – programa de coordenação usando ToU definidos em [33];
- C3 – programa de coordenação usando o TS-ToU adaptativo.

As características dos três esquemas tarifários são descritas na Tabela 2.10. Este estudo conclui que o programa de tarifas C3 tem um melhor desempenho em termos de redução dos custos de operação do sistema e, portanto, uma melhor utilização da energia de fonte renovável. Isto é conseguido por uma maior flexibilização do programa C3.

Tabela 2.10 – Tarifas TOU e probabilidade de aceitação [32].

C 1		C 2		C 3	
Período	Probabilidade	Período	Probabilidade	Período	Probabilidade
22:30 - 5:30	1	22:30 - 03:00	0.1775	22:30 - 01:30	0.0105
-	-	23:00 - 03:30	0.1745	23:00 - 02:00	0.1613
-	-	23:30 - 04:00	0.1574	23:30 - 02:30	0.2256
-	-	00:00 - 04:30	0.0468	00:00 - 03:00	0.0605
-	-	00:30 - 05:00	0.0415	00:30 - 03:30	0.0336
-	-	01:00 - 05:30	0.4023	01:00 - 04:00	0.0067
-	-	-	-	01:30 - 04:30	0.0722
-	-	-	-	02:00 - 05:00	0.1084
-	-	-	-	02:30 - 05:30	0.3212

O’Connell *et al.*, propõem um escalonamento inteligente de carregamento dos VEs com os objetivos de minimizar os custos de carregamento e prevenção dos congestionamentos da rede [34]. Os VEs carregam de acordo com os requisitos de cada proprietário, respeitando as restrições da rede de distribuição local. Um esquema de tarifação dinâmica para o sistema de distribuição é proposto para evitar o congestionamento no sistema de distribuição local utilizando a previsão do dia seguinte. O preço marginal local é usado para determinar a tarifa horária do sistema de distribuição dinâmica com base nos preços previstos para o dia seguinte e a previsão dos comportamentos da carga.

Ensslen *et al.*, propõe uma ferramenta de simulação de tarifas para VEs, em que um esquema tarifário de deslocamento de carga adequado aos proprietários dos VEs é considerado [35]. A modelação do problema é dividida em três fases. Na primeira fase, a aceitação dos VEs é analisada com base em pesquisas realizadas entre os agregadores e proprietários dos VEs. Os resultados correspondentes são usados para calibrar a tarifa, i.e., identificar a flexibilidade de carregamento horário dos VEs. Em segundo lugar, as flexibilidades dos VEs são usadas num modelo de simulação de mercado de eletricidade baseado em agentes para simular o impacto da flexibilidade no sistema. Em terceiro lugar, é analisado o modelo de negócios do agregador, em que é analisado o comportamento dos utilizadores dos VEs referente às tarifas estabelecidas pelo agregador.

Similarmente, Morais *et al.* propuseram uma ferramenta capaz de simular diferentes tipos de esquemas tarifários de forma a comparar a mais eficaz para o carregamento inteligente dos VEs [36]. Mais precisamente, as tarifas horárias são modeladas com base na relação entre o preço do mercado de energia e a produção de energia renovável. Desta forma, o preço horário em cada tarifa segue a relação entre a produção de energia renovável e a carga no sistema. Assim, os VEs são incentivados a carregar em períodos com alta produção renovável e baixo consumo energético, portanto, balanceando o sistema. Adicionalmente, este estudo modela três tipos de tarifas diferentes, através de regressão linear, quadrática e por escalões da relação entre o preço do mercado diário e o fator que relaciona a produção renovável com o consumo. Esta modelação permite os agregadores de VEs e operadores de rede simular várias tarifas distintas que possam minimizar os custos de energia, bem como, mitigar problemas na rede.

Todas as metodologias apresentadas neste capítulo têm em comum o objetivo de dinamizar o uso de tarifas horárias para o carregamento inteligente de VEs. Cada método tem as suas características adequadas a diferentes sistemas e necessidades dos agentes do sistema. Por exemplo, alguns métodos são direcionados para os agregadores de VEs a fim de otimizar sua participação no mercado, enquanto outros pretendem colmatar as os potenciais problemas de estabilização da rede de distribuição, que o carregamento descontrolado (*dumb charge*) de VEs pode provocar. Todavia, os modelos abrangidos na literatura ignoram o comportamento humano, que influencia a aceitação e predisposição dos utilizadores de VEs em cumprir as tarifas consideradas, mesmo que vantagens económicas estejam em consideração. Neste

âmbito, uma correta modelação de tarifas dinâmicas terá seguramente de considerar o comportamento dos condutores, não somente no perfil de condução dos VEs, mas também na sua predisposição a adaptar-se às tarifas elétricas.

Neste contexto, o capítulo seguinte propõe uma metodologia de tarifação de VEs considerando diferentes padrões de condução, bem como a modelização do comportamento socioeconômico de cada utilizador, com base em níveis de ansiedade dos utilizadores face aos preços praticados nas tarifas.

3 MODELO DE TARIFAÇÃO PARA CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Neste capítulo é descrito o problema do carregamento dos VEs ao nível da rede elétrica, sendo proposto uma metodologia tarifária para o carregamento inteligente de VEs através de incentivos económicos. Três diferentes esquemas tarifários são propostos considerando a perspectiva do utilizador do VE, bem como o seu comportamento socioeconómico.

3.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A utilização de VEs tem vindo a aumentar nos países ocidentais e na Dinamarca este fenómeno é similar. Um dos aspetos que deve ser estudado dado o impacto que tem na rede elétrica é o perfil de utilização dos referidos VEs. Por outro lado, é igualmente importante o estudo do impacto das tarifas horárias para o carregamento dos VEs nos perfis anteriormente descritos. Este tema é abordado nesta secção onde, os proprietários

dos VEs podem aceder a ferramentas que lhes permitam realizar carregamentos inteligentes com o intuito de melhorarem a sua eficiência em termos económicos [3]. O principal objetivo dos proprietários dos VEs, é utilizar o carro como um meio de transporte ao menor custo possível. Portanto, os proprietários dos VEs devem ser flexíveis e carregarem os VEs nas horas nas quais o preço é mais baixo para posteriormente utilizarem o VE quando necessitam.

Em paralelo, os operadores de sistema, podem definir tarifas horárias específicas para os VEs, a fim de transferir a carga dos mesmos para as horas com menor carga no sistema, com o intuito de evitar problemas de congestionamento e de tensão nas redes de média e baixa tensão. Ao mesmo tempo, os comercializadores de energia elétrica pretendem também controlar, de certo modo, o carregamento dos VEs a fim de carregarem em horas com menor custo de energia nos mercados elétricos, diminuindo o custo de compra da mesma.

As atuais tarifas de energia elétrica podem variar de tarifas simples a tarifas horárias ao longo do dia. No entanto, com a atual penetração de energia renovável, o preço da energia elétrica nos mercados elétricos pode variar significativamente de hora em hora, o que incentiva o uso de tarifas horárias [37] [38].

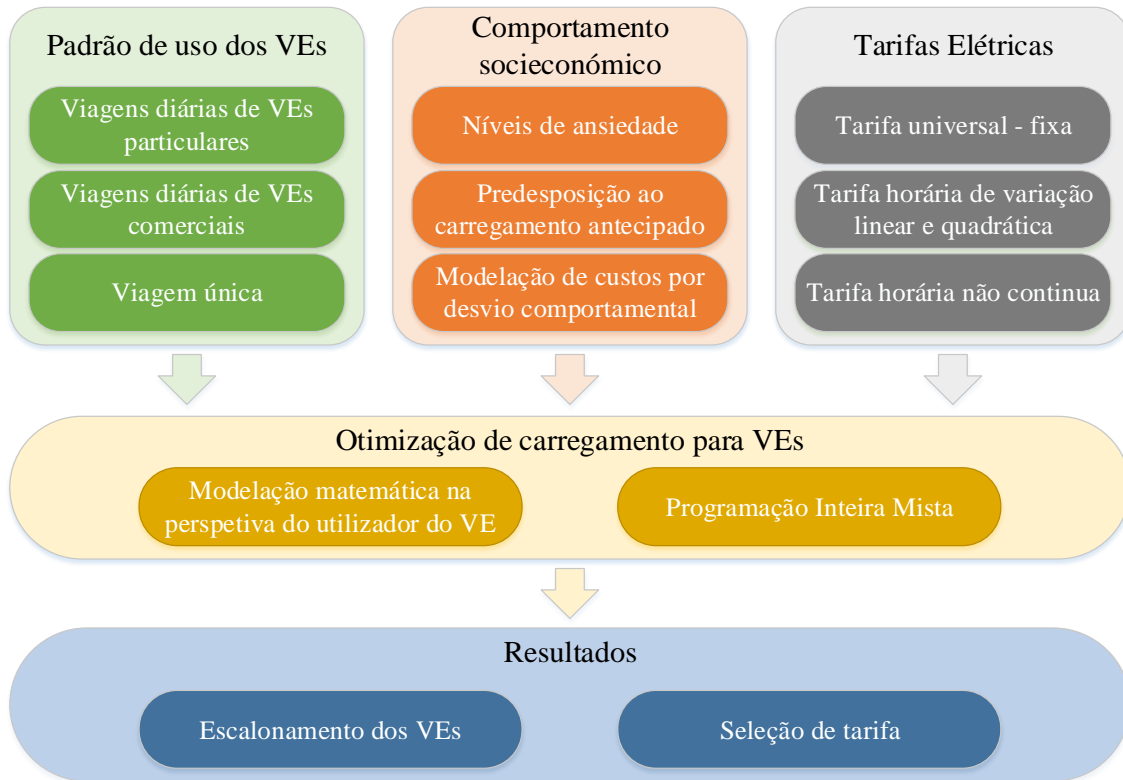


Figura 3.1 – Esquema de carregamento de VEs através de incentivos económicos do mercado.

Nesta secção, o comportamento dos VEs, sob diferentes esquemas tarifários, como abordado em [36] é estudado e modelado. A Figura 3.1 representa o modelo esquemático do problema de carregamento dos VEs, considerando diferentes características, tais como: o padrão de uso dos VEs; o comportamento socioeconómico; e as diferentes tarifas eléctricas. Assim, do ponto de vista dos proprietários dos VEs, o problema pretende minimizar os custos de carregamento dos VEs, contabilizando preços diferentes num horizonte temporal, geralmente para as próximas 24 horas. Este modelo inclui a modelação dos perfis de utilização dos VEs, em que se enquadra o uso quotidiano e esporádico de diferentes utilizadores, tanto para transporte doméstico como transporte profissional. Por conseguinte, acrescentou-se uma modulação comportamental de características socioeconómicas dos VEs ao estudo. Este modelo tem por base uma escala que mede diferentes níveis de ansiedade dos proprietários dos VEs, que podem ou não responder aos diferentes esquemas tarifários. Para além disso, a modelização de diferentes tarifas horárias é considerada. Estas tarifas permitem enquadrar o dinamismo real dos preços de mercado recorrendo a regressões lineares e complexas.

Do ponto de vista dos operadores do sistema e/ou agregadores, a principal dificuldade desta solução de controlo do carregamento dos VEs, é a determinação apropriada do preço horário para obter a resposta esperada dos proprietários dos VEs.

Neste contexto, assume-se que os proprietários de VEs carregam os seus VEs considerando uma tarifa que varia ao longo do dia.

3.2 METODOLOGIA PROPOSTA

Esta secção apresenta um modelo de simulação para o carregamento de VEs, levando em conta diferentes tarifas horárias. O problema é modelado sobre a perspetiva do proprietário do VE com vista à minimização dos custos associados ao carregamento do mesmo. O comportamento do condutor face à dinamização das tarifas elétricas é considerado.

3.2.1 PERSPETIVA DO PROPRIETÁRIO DO VES

O problema de otimização, do ponto de vista dos proprietários dos VEs, é modelado por uma função objetivo que é representada por (1), onde considera a minimização dos custos do carregamento, mais as penalidades positivas e negativas para diferentes estados de carga SOC – *State-of-charge* de acordo com as necessidades esperadas para o dia seguinte. Equações (2) a (6) representam todas as restrições do problema, assumindo que todas as variáveis do problema são positivas.

$$\min \sum_t^T \sum_{ev}^{N_{EV}} \left(P_{Ch(ev,t)} p_{(t)} + E_{(ev,t)}^+ p_{(ev)}^+ + E_{(ev,t)}^- p_{(ev)}^- \right) \quad (1)$$

$$SOC_{(ev,t)} \leq E_{BatCap(ev)} \quad \forall ev \in \{1, \dots, N_{EV}\}, \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (2)$$

$$SOC_{(ev,t)} \geq E_{MinCharge(ev)} \quad \forall ev \in \{1, \dots, N_{EV}\}, \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (3)$$

$$P_{Ch(ev,t)} \leq P_{Ch(ev)}^{Max} X_{(ev,t)} \quad \forall ev \in \{1, \dots, N_{EV}\}, \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 SOC_{(ev,t)} &= SOC_{(ev,t-1)} + \eta_{Ch(ev)} P_{Ch(ev,t)} \Delta t - E_{Trip(ev,t)}, \\
 \forall ev &\in \{1, \dots, N_{EV}\}, \forall t \in \{1, \dots, T\}
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$SOC_{(ev,t)} - E_{Trip(ev)}^{Expected} = E_{(ev,t)}^+ - E_{(ev,t)}^-, \quad \forall ev \in \{1, \dots, N_{EV}\}, \forall t = 24 \tag{6}$$

$$P_{Ch(ev,t)}, SOC_{(ev,t)}, E_{(ev,t)}^+, E_{(ev,t)}^-, X_{(ev,t)} \geq 0 \tag{7}$$

A energia máxima armazenada por cada VE é definida em (2), enquanto (3) limita a carga mínima exigida na bateria. De salientar que o limite mínimo e máximo do VE depende das especificações técnicas da bateria que varia de acordo com a marca e modelo como mostrado na base de dados exposta na secção 4.1.3.3. Atualmente, uma grande parte dos fabricantes de VEs limitam o uso do VE a um limite mínimo de carga na bateria que varia inicialmente entre 30% e 10% da capacidade instalada consoante o nível de degradação da bateria [39]. A equação (4) limita a taxa máxima de carga dos carregadores dos VEs para cada VE em um único período t . A variável X é uma binária que define, se o veículo está ou não ligado à rede ($X=1$, veículo ligado à rede; $X=0$, veículo desligado da rede). O SOC do VE no período t é determinado pela equação (5), que considera a eficiência do carregamento (η_{Ch}) e a energia necessária para a viagem do VE.

A equação (6) determina o desvio da carga atual do VE com as necessidades esperadas para o dia seguinte, na última hora do dia. Deste modo, são calculadas as penalidades dos VEs, por terem carga insuficiente ou em excesso para satisfazer as necessidades de viagem nas primeiras horas do dia seguinte. No caso do SOC do VE ser superior às necessidades esperadas, o desvio terá uma penalidade nula, visto estar preparado para ser usado imediatamente nas primeiras horas do dia seguinte. Isto é, o VE não é penalizado por ter carga superior às necessidades de viagem do dia seguinte. Por outro lado, no caso de SOC menor do que a energia necessária para viagens nas primeiras horas do dia seguinte, uma alta penalização é considerada na função objetivo de forma a desencorajar tal comportamento. Esta modelação é particularmente importante para VEs de uso quotidiano profissional, uma vez que existem empresas que necessitam de usar os

VEs durante a madrugada por diferentes razões profissionais. Esta penalização pode ser reduzida no caso dos veículos do tipo *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV).

3.2.2 MODELAÇÃO DE COMPORTAMENTO SOCIOECONÔMICO PARA OS VES

Um dos pontos-chave no modelo proposto é a equação (6) que calcula a provisão d'um valor SOC suficiente para a viagem do dia seguinte. A energia esperada nas viagens, é determinada com base na energia necessária para viajar no dia seguinte, de acordo com os padrões de VEs descritos na secção 4.

As penalidades por desvio positivo e negativo têm um impacto considerável no escalonamento do carregamento dos VEs. A penalidade por desvio negativo (tendo um SOC menor que as necessidades energéticas esperadas) é assumido 2 vezes o preço médio naquele dia. Neste sentido, o modelo pretende proteger as necessidades de transporte espectáveis do utilizador para o dia seguinte.

No que diz respeito à penalidade de desvio positivo, um comportamento socioeconômico foi modelado para cada VE. O comportamento é modelado com base na escala de avaliação de ansiedade de Hamilton [40], através de cinco níveis, que definem o nível de ansiedade do perfil do proprietário de “Ausente” a “Muito severo” detalhado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Perfil socioeconômico para os VEs.

Perfil do proprietário (Nível de ansiedade)	Níveis de Penalidade (p^{level})
Ausente	0
Pouco Presente	1
Moderado	2
Severo	3
Muito Severo	4

Os níveis de penalidade são a escala usada para traduzir o perfil do proprietário em penalidade econômica, onde 4 é o dobro do preço médio do dia com sinal negativo e 0 corresponde ao valor de não existir penalidade. Os valores intermédios são interpolados linearmente pela fórmula de penalidade dada por:

$$p_{(ev)}^+ = -2\tilde{p} \frac{p_{(ev)}^{level}}{4}, \quad \forall ev \in \{1, \dots, N_{EV}\} \quad (7)$$

Onde \tilde{p} é o preço médio do dia. Mais precisamente, os proprietários dos VEs que têm um nível de ansiedade mais severo, mudam seu comportamento de carregamento, frequentemente com uma variação mínima no preço. Por outro lado, os proprietários com o menor nível de ansiedade não mudarão seu padrão de carregamento, uma vez que não possuem motivação econômica para mudar ($p^+ = 0$). Os níveis de penalidade para os VEs são gerados aleatoriamente seguindo a distribuição normal.

3.2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Atualmente em Portugal, o preço da energia no setor doméstico é caracterizado por tarifas, que podem ter um ou dois preços diferentes ao longo do dia, enquanto os grandes consumidores podem ter até quatro tarifas durante o dia [41]. Em contraste, na Dinamarca, o preço de energia pode ser fixo ou variável [42], [43]. A tarifa fixa estabelece um preço para pelo menos 3 meses consecutivos, podendo ir até 24 meses dependendo do contrato. Por outro lado, a tarifa variável segue as variações do mercado de energia e, portanto, um preço horário é estabelecido. Tais tarifas são determinadas considerando o preço do mercado de energia, o uso das redes elétricas de transporte e de distribuição e ainda vários outros custos referentes à confiabilidade e sustentabilidade do setor elétrico.

Em Portugal, os comercializadores de energia podem alterar a tarifa até quatro vezes por ano, dependendo dos custos de energia, especialmente em relação ao preço do combustível para produzir energia elétrica. Na Dinamarca, no âmbito da tarifa fixa, os comercializadores não podem mudar o preço até ao fim do contrato estabelecido em pacotes de 3 a 24 meses [42].

No entanto, a Dinamarca tem o objetivo de até 2035 fazer a transição do atual sistema elétrico de energia baseado em combustíveis fósseis para um sistema 100% renovável [44] e, portanto, o preço da energia poderá deixar de estar diretamente relacionado com o preço dos combustíveis uma vez que a produção de energia baseada em energias renováveis tem aumentado significativamente ano após ano.

Em muitos períodos do ano, todo o consumo elétrico dinamarquês é fornecido pelas unidades de produção eólica e por conseguinte, o preço do mercado de energia chega perto de zero, ou mesmo a valores negativos [45]. De facto, a energia eólica produzida e injetada na rede da Dinamarca, atingiu um valor de 44,4% do total de energia consumida no país em 2017 [46]. Nesse mesmo ano, houve horas em que a produção de energia eólica atingiu 150% do consumo total.

Assim, os comercializadores de energia podem ser mais recetivos e mudar as suas tarifas com maior frequência (e.g., a tarifa variável na Dinamarca). Tal mudança no setor é necessária para garantir tarifas mais justas para os utilizadores.

Por outro lado, os operadores de sistema podem variar a parcela da tarifa referente à utilização da rede elétrica de forma a garantir o equilíbrio do sistema e que as redes não são operadas próximos dos seus limites técnicos.

Na metodologia proposta, o preço da energia elétrica varia em função da flutuação da geração de energia eólica. O impacto da produção de energia eólica no consumo de energia pode ser traduzido através de:

$$WF_{(t)} = \frac{P_{Wind(t)}}{P_{Consumption(t)}}, \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (8)$$

onde WF é o fator eólico, que relaciona diretamente a produção de energia eólica com o consumo de energia. Na presente metodologia, o WF é usado para determinar as variações para a tarifa regulada usada pelos comercializadores de energia elétrica. O valor de WF é calculado para cada hora de um ano e posteriormente relacionado com o preço de mercado de energia desse mesmo ano.

Desta forma, são considerados todos os diferentes aspetos relacionados com os diferentes tipos de produção, capacidade de interconexão, elasticidade de carga e regras de mercado (provisão de preços negativos). Isso permite diferentes tendências de preço de mercado correlacionadas com o WF . Por exemplo, tendências de regressão linear e quadrática podem ser obtidas, assim como variações não contínuas podem ser modeladas, como demonstra a Figura 3.2 [36]. Isto é, as curvas representam uma regressão linear, quadrática e não continua entre o preço de energia praticado no mercado diário e o WF .

Assim, essas curvas são usadas para gerar as tarifas de eletricidade que o comercializador fornece aos utilizadores de VEs. Em vez de uma tarifa fixa ao longo do dia, propõe-se que o comercializador utilize uma tarifa horária capaz de refletir parcialmente os estado do sistema, dependendo das diferentes curvas identificadas na Figura 3.2. De salientar que as curvas são afetadas pela variação esperada do preço da energia, bem como os custos esperados e o lucro do comercializador.

Vale ressaltar que algumas das tarifas (de curva quadrática) podem não ser muito interessantes para os utilizadores dos VEs, uma vez que a variação de preço é muito pequena e, portanto, os utilizadores podem não reagir à tarifa como comercializador teria inicialmente previsto. Por outro lado, a tarifa não contínua tem um maior desnível de preços, o que pode implicar uma maior alteração no comportamento dos VEs.

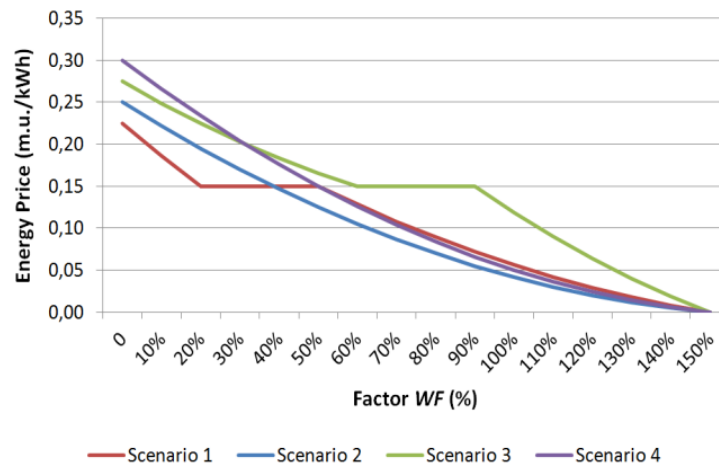


Figura 3.2 – Exemplo de modelação de tarifas de energia elétrica com base no rácio entre geração e consumo Real-Time Tariffs for Electric Vehicles [36].

Em suma, a metodologia proposta neste capítulo incorpora várias características fundamentais para o incentivo de carregamento inteligente por parte dos utilizadores dos VEs. Entre as características considera-se diferentes padrões de condução, comportamento socioeconômico, e tarifas horárias com base na produção renovável. Salienta-se que uma modelação tão complexa como a apresentada, necessita de uma correta validação de forma a ser aplicada na prática. Essa validação é executada no capítulo seguinte com base em uma amostra considerável de VEs atualmente registados

na Dinamarca. Este estudo demonstra a aplicabilidade e escalabilidade da metodologia proposta, levando em consideração o benefício económico para o utilizador do VE.

4 O CASO DA DINAMARCA

O caso de estudo desenvolvido nesta dissertação considera os veículos elétricos existentes na Dinamarca entre 1991 até 2018. Mais precisamente, optou-se pela Dinamarca devido à facilidade de encontrar dados históricos de utilização dos VEs e registos de forma completa via *online* para os diferentes tipos de VEs, nomeadamente, veículos elétricos puros (*Battery Electric Vehicles* – BEV) e veículos híbridos com a possibilidade de fazer o carregamento (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle* – PHEV). Neste contexto, constatou-se que o número de PHEVs e BEVs existentes na Dinamarca, embora existam cerca de 4 milhões de veículos registados (todos os tipos de veículos), dos quais 2,1 milhões são de transporte de passageiros, apenas uma pequena parcela representam VEs [47].

Desta forma além da extração, tratamento e análise de dados, neste capítulo são representados três padrões de comportamentos de diferentes tipos de condutores de VEs. Isto é, três perfis de condução e quatro tarifas distintas foram simuladas com base no spot price de ambas as áreas da Dinamarca (DK1 – Oeste; DK2 – Este) para todo o ano de 2017, recorrendo aos softwares de simulação GAMS e MATLAB.

4.1 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DE VES

Esta secção contém informação detalhada da obtenção dos dados dos VEs e respetiva análise dos dados obtidos. Deste modo, o processo de extração, tratamento e análise da base de dados são discriminados.

4.1.1 EXTRAÇÃO DE DADOS

De acordo com uma plataforma *online* através dos sites Dinamarqueses NRPLA² e SKAT.DK³, (ilustrado pela Figura 4.1), foi feita uma pesquisa detalhada dos BEV e PHEV, desde o primeiro veículo registado em Agosto de 1991 até Julho de 2018 [48][49]. Deste modo, todos os VEs que podem carregar energia pela rede elétrica são considerados. Os dados resultantes desta pesquisa foram extraídos para uma folha Excel (Figura 4.2), e organizados por marca, modelo, matrícula, Ano de registo, capacidade das baterias instaladas e a indicação BEV ou PHEV, obtendo um número total de 11088 VEs, dos quais 1934 são PHEVs e 9154 são BEVs.

Reg. nr.	Fabrikant	Model	Variant	Første reg. dato	Støttenummer	Status	Type
CS27035	Toyota	Prius Plug-in	1.8 Plug-in Hybrid CVT	08-08-2018	JTDKA3FP903088550	Registreret	Personbil
B289733	Toyota	Prius Plug-in	1.8 Plug-in Hybrid CVT	19-07-2018	JTDKA3FP903088323	Registreret	Personbil
CS27959	Toyota	Prius Plug-in	1.8 Plug-in Hybrid CVT	20-08-2018	JTDKA3FP903088342	Registreret	Personbil

Figura 4.1 – Plataforma online de todos os registos de veículos na Dinamarca.

² www.nrpla.de/soeg

³ www.motorregister.skat.dk

Reg. nr.	Fabrikant	Model	Variant	Første reg. dato	Stelnummer	Status	Type	Battery Capacity (kWh)	EV type (BEV = 1 or PHEV = 2)
2	AL2568	Tesla	Roadster	17/05/2011	SF2RE28178300523	Registreret	Personbil	53	1
3	D173509	Tesla	Roadster	26/06/2009	SVRE118881000366	Registreret	Personbil	53	1
4	A124292	Tesla	Roadster	15/05/2012	SF2RE283483000805	Registreret	Personbil	53	1
5	N61602	Tesla	Roadster	22/09/2009	SF2RE283483000817	Registreret	Personbil	53	1
6	AX6056	Tesla	Roadster	28/09/2011	SF2RE283383000519	Registreret	Personbil	53	1
7	HV30382	Tesla	Roadster	19/07/2012	SF2RE281303000885	Registreret	Personbil	53	1
8	D173493	Tesla	Roadster	13/08/2009	SVRE118881000365	Registreret	Personbil	53	1
9	A133203	Tesla	Roadster	12/10/2010	SF2RE281743000374	Registreret	Personbil	53	1
10	A214431	Tesla	Model S	16/12/2015	SV5A7H20FFP72061	Registreret	Personbil	60	1
11	A218372	Tesla	Model S	09/06/2015	SV5A7H15EFP39862	Registreret	Personbil	60	1
12	A182720	Tesla	Model S	21/03/2014	SV5A7H5EFP23771	Registreret	Personbil	60	1
13	A223580	Tesla	Model S	23/12/2014	SV5A6H11EFP39397	Registreret	Personbil	60	1
14	BS82745	Tesla	Model S	26/09/2013	SV5A2ND2DFP18972	Registreret	Personbil	60	1
15	SV53028	Tesla	Model S	13/01/2014	SV5A2DPI0DFP24022	Registreret	Personbil	60	1
16	AV14276	Tesla	Model S	14/08/2015	SV5A7H3EFP82389	Registreret	Personbil	60	1
17	AV56703	Tesla	Model S	24/09/2013	SV5A2ND0DFP13309	Registreret	Personbil	60	1
18	A234886	Tesla	Model S	13/02/2015	SV5A7H1EFP39243	Registreret	Personbil	60	1
19	AV29332	Tesla	Model S	10/06/2014	SV5A33EFP34852	Registreret	Personbil	60	1
20	AV32683	Tesla	Model S	14/03/2014	SV5A33EFP39035	Registreret	Personbil	60	1
21	AV28311	Tesla	Model S	04/06/2014	SV5A33EFP34276	Registreret	Personbil	60	1
22	AV10921	Tesla	Model S	19/12/2014	SV5A7S18EFP4801	Registreret	Personbil	60	1
23	AV84264	Tesla	Model S	09/12/2014	SV5A33EFP34284	Registreret	Personbil	60	1
24	A274543	Tesla	Model S	13/04/2015	SV5A7S18EFP65405	Registreret	Personbil	60	1
25	AV14678	Tesla	Model S	25/09/2013	SV5A2DGD0DFP17976	Registreret	Personbil	60	1
26	AV33428	Tesla	Model S	05/12/2014	SV5A651EFP51477	Registreret	Personbil	60	1
27	AV82728	Tesla	Model S	09/12/2014	SV5A651EFP57880	Registreret	Personbil	60	1
28	AV13588	Tesla	Model S	20/04/2015	SV5A651EFP43326	Registreret	Personbil	60	1
29	AV58201	Tesla	Model S	16/12/2014	SV5A7S18EFP38937	Registreret	Personbil	60	1
30	AV29787	Tesla	Model S	11/12/2014	SV5A651EFP57886	Registreret	Personbil	60	1
31	AV87541	Tesla	Model S	28/03/2014	SV5A3H1EFP31338	Registreret	Personbil	60	1
32	AV38393	Tesla	Model S	25/03/2015	SV5A7S18EFP67294	Registreret	Personbil	60	1
33	AV13666	Tesla	Model S	30/12/2013	SV5A2CGD0DFP23192	Registreret	Personbil	60	1
34	AV10929	Tesla	Model S	29/07/2014	SV5A33EFP39884	Registreret	Personbil	60	1
35	AV21469	Tesla	Model S	21/01/2014	SV5A2CGD0DFP20120	Registreret	Personbil	60	1
36	AV84266	Tesla	Model S	11/12/2014	SV5A651EFP53182	Registreret	Personbil	60	1
37	AV08712	Tesla	Model S	02/09/2014	SV5A33EFP43399	Registreret	Personbil	60	1
38	AV23823	Tesla	Model S	26/05/2014	SV5A33EFP35439	Registreret	Personbil	60	1
39	AV14644	Tesla	Model S	19/12/2013	SV5A2CGD0DFP24716	Registreret	Personbil	60	1

Figura 4.2 – Base de dados de VEs extraídos para Excel.

4.1.2 TRATAMENTO DE DADOS

A fim de caracterizar todos os VEs na Dinamarca, efetuou-se um levantamento de dados de várias marcas, considerando todos os VEs que podem carregar através da rede elétrica. Obteve-se um total de 1934 PHEVs e 9134 BEVs. Aos veículos PHEV foi atribuído o parâmetro de identificação 2 como classificação do tipo de VE, como se pode ver na Figura 4.3.

Fabrikant	Model	Variant	Første reg. dato	Stelnummer	Status	Type	Battery Capacity (kWh)	EV type (BEV = 1 or PHEV = 2)
Toyota	Auris 5-Dørs Hybrid	1.8 SD. HB HYBRID	27/07/2015	SB1MS3JE10E174190	Registreret	Personbil	8,80	2
Toyota	Prius	ZVW30	11/09/2009	JTDKN36U601026246	Registreret	Personbil	5,20	2
Toyota	Prius Plug-In Hybrid	UOPLYST	24/03/2005	JTDKB20U907004332	Registreret	Personbil	5,20	2
Toyota	Prius Plug-In Hybrid	1.8 AUT. PLUG-IN HYB	22/04/2013	JTDKN36P603038024	Registreret	Personbil	5,20	2
Toyota	Prius Plug-In	1.8 Plug-in Hybrid CVT	19/06/2018	JTDKA3FP03075903	Registreret	Personbil	8,80	2
Toyota	Prius Plug-In	1.8 Plug-in Hybrid CVT	02/07/2018	JTDKA3FP703084392	Registreret	Personbil	8,80	2
Toyota	Prius Plug-In	1.8 Plug-in Hybrid CVT	11/07/2018	JTDKA3FP603085310	Registreret	Personbil	8,80	2
Toyota	Prius Plug-In	1.8 Plug-in Hybrid CVT	16/05/2018	JTDKA3FPX03077330	Registreret	Personbil	8,80	2
Toyota	Prius Plug-In	1.8 Plug-in Hybrid CVT	08/05/2018	JTDKA3FP403077125	Registreret	Personbil	8,80	2
Toyota	Prius Plug-In	1.8 Plug-in Hybrid CVT	19/04/2018	JTDKA3FP03075738	Registreret	Personbil	8,80	2
Toyota	Prius Plug-In	1.8 Plug-in Hybrid CVT	15/06/2018	JTDKA3FPX03081583	Registreret	Personbil	8,80	2
Toyota	Prius Plug-In	1.8 Plug-in Hybrid CVT	28/06/2018	JTDKA3FPX03077880	Registreret	Personbil	8,80	2

Figura 4.3 – Base de dados PHEV.

Em contraste, aos veículos BEV foi atribuído o parâmetro de identificação 1 como classificação do tipo de veículo, como se pode ver na Figura 4.4. Isto permitiu uma melhor organização e posterior seleção e análise.

B	C	D	E	F	G	H	I	J
Fabrikant	Model	Variant	Første reg. dato	Steinummer	Status	Type	Battery Capacity (kWh)	EV type (BEV = 1 or PHEV = 2)
Mitsubishi	I-Miev	EV	01/07/2011	JMBLDHA3WBU001807	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	EV	27/04/2011	JMBLDHA3WBU001769	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	EV	08/06/2011	JMBLDHA3WBU001679	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	EV	19/04/2012	JMBLDHA3WBU001508	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	EV	02/03/2011	JMBLDHA3WBU001500	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	EV	01/03/2011	JMBLDHA3WBU001361	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	64 HK	19/05/2015	JMBLDHA3WBU000542	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	EV	24/03/2015	JMBLDHA3WBU001406	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	EV	03/05/2011	JMBLDHA3WBU001923	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	64 HK	28/11/2012	JMBLDHA3WBU002033	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	EV	02/03/2011	JMBLDHA3WBU000488	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	64 HK	30/11/2012	JMBLDHA3WBU001971	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	EV	05/04/2011	JMBLDHA3WBU001598	Registreret	Personbil	16,00	1
Mitsubishi	I-Miev	48 HK	29/10/2013	JMBLDHA4WU000607	Registreret	Personbil	16,00	1

Figura 4.4 – Base de dados BEV.

Consoante a informação adquirida sobre o modelo e variante do VE, foi preenchido a coluna respetiva à capacidade da bateria. Todavia, é de realçar que uma boa parte dos modelos e variantes de VEs existentes no portal não continham originalmente a informação suficiente sobre este parâmetro. Assim, foi executada uma pesquisa auxiliar de modo a complementar e tratar estes dados em falta. Na maior parte dos modelos PHEV de uma determinada marca, a capacidade das baterias é transversal entre os modelos. Contudo, existem exceções que foram resolvidas com base na informação do ano de registo do VE.

O mesmo processo de tratamento de dados foi adotado para os veículos BEV. Contudo, para certos registos de veículos Tesla (nomeadamente, os veículos mais antigos), o registo do veículo não contempla a capacidade da bateria na coluna respetiva à variante do modelo do veículo. Neste caso, foi assumido que esses VEs possuem a menor capacidade de bateria do modelo à altura do respetivo registo.

4.1.3 ANÁLISE DE DADOS / EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO

A última fase da análise de dados consistiu na extração de conhecimento dos dados “brutos”. Neste sentido, foi executada uma análise por tipo de VE, i.e., veículos PHEV e BEV.

4.1.3.1 CARACTERIZAÇÃO DE VEÍCULOS PHEV

No que respeita aos veículos PHEV, uma análise da cota de mercado foi realizada. A Figura 4.5 representa o impacto de cada fabricante no mercado Dinamarquês. Verifica-se que o fabricante KIA tem maior número de carros vendidos no país, atingindo 59%, i.e., mais de metade do número total de veículos PHEV registados.

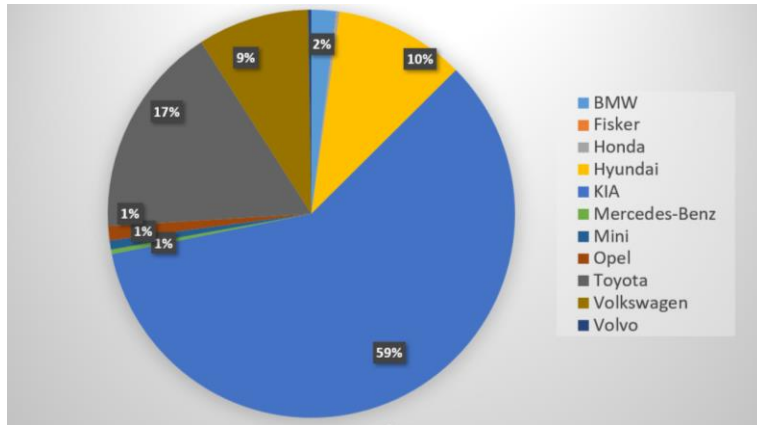


Figura 4.5 – N° Total de Veículos PHEV na Dinamarca.

4.1.3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS VEÍCULOS 100% ELÉTRICOS (BEV)

No que respeita aos veículos do tipo BEV, efetuou-se a análise de mercado considerando o impacto que cada fabricante possui. A Figura 4.6 ilustra a partilha do mercado de veículos BEV, realçando a percentagem de cada fabricante no mercado. Deste modo, verifica-se que o fabricante Tesla é o que vendeu mais BEVs, atingindo os 44% de cota de mercado, distinguindo-se como o valor mais elevado no respetivo gráfico.

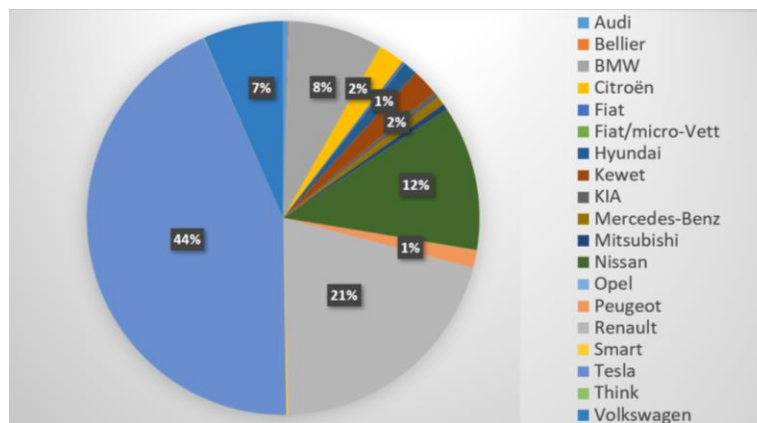


Figura 4.6 – N° Total de Veículos BEV na Dinamarca.

4.1.3.3 CARACTERIZAÇÃO DA CAPACIDADE DAS BATERIAS

Esta secção contém uma análise genérica da capacidade das baterias dos VEs.

4.1.3.3.1 VISÃO GERAL DAS DIFERENTES CARACTERÍSTICAS DAS BATERIAS

A fim de fornecer uma visão global e completa de todas as características das baterias para todos os VEs, propõem-se a divisão 10 escalões diferentes, ilustrados na Figura 4.7. Os escalões de maior capacidade correspondem aos veículos do fabricante Tesla, sendo também a marca dominante. Mais precisamente, o modelo S e o modelo X do fabricante Tesla (28% dos utilizadores), possui as baterias com maior capacidade adequadas para longas distâncias, aproximadamente 500km para um ciclo de carga completo [50]. Um outro grupo de veículos destaca-se na figura, respeitante ao escalão de capacidade de bateria entre os 11 e os 20 KW/h, com um valor de 31 % de utilizadores, distinguindo-se as seguintes marcas e modelos: BMW i3; Renault Zoe; VW E Golf; Nissan Leaf; e Hyundai Ioniq. Uma característica importante, visível no gráfico, são os veículos PHEV (escalão 1-10 KW/h) com 18% de influência no mercado.

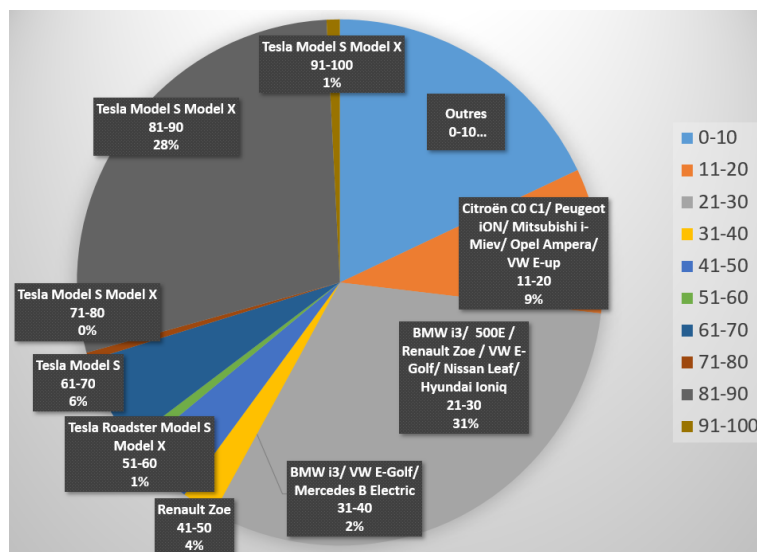


Figura 4.7 – Distribuição da capacidade das baterias por todos os VEs.

4.1.3.3.2 CARACTERIZAÇÃO DA CAPACIDADE DAS BATERIAS PARA O TESLA MODEL S

Sabendo que o Tesla Model S é o VE com maior presença no mercado dinamarquês e que o mesmo possui diversas variantes com diferentes níveis de capacidade de bateria, fez-se uma análise mais exaustiva do mesmo. De facto, existem 6 variantes do modelo com diferentes capacidades de bateria, nomeadamente 60, 70, 75, 85, 90 e 100 kWh. Da base de dados, verifica-se que a preferência dos dinamarqueses

(67%) recaí na variante do modelo que contempla 85 kWh de capacidade, como ilustrado na Figura 4.8.

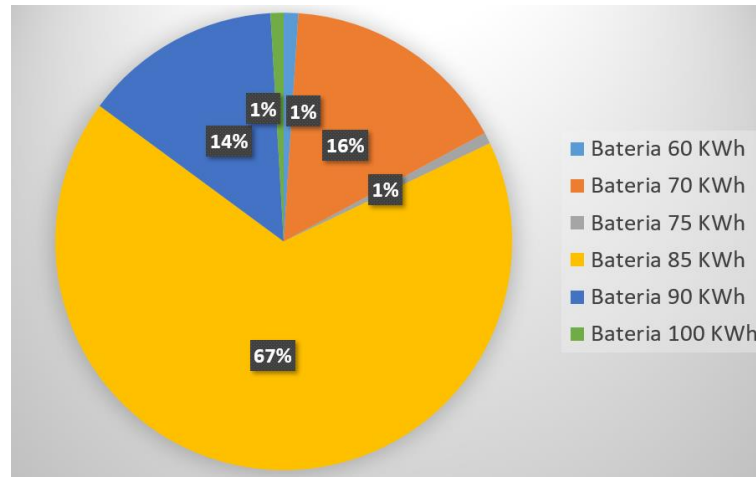


Figura 4.8 – Distribuição das baterias para o Tesla Model S.

4.2 PERFIS DE CONDUÇÃO

O perfil de condução é um elemento chave da modelação dos VEs, visto que o comportamento no uso do veículo altera significativamente o uso da bateria, bem como as necessidades energéticas. Neste sentido e para representar os comportamentos de diferentes tipos de condutores de VEs, três padrões diferentes foram modelados:

- Perfil de veículos de passageiros para viagem diária – Supõe-se que os VEs são usados para viajar duas vezes por dia. Neste caso, de acordo com os padrões dinamarqueses, viaja-se de manhã entre as 6 e as 9 da manhã e à tarde, entre as 14:00 e as 16:00 horas, correspondendo ao comportamento da maioria da população numa base semanal. Este perfil de deslocamento diário foi aplicado a 60% de todos os VEs disponíveis na base de dados. Os VEs foram selecionados de forma proporcional pelos escalões de baterias admitidos;
- Perfil de veículos para uso comercial – Os VEs são usados para viajar de acordo com necessidades específicas da atividade profissional, que podem depender do tipo de negócio. Este padrão foi baseado num comportamento de uma frota de VEs da empresa *Frederiksberg Forsyning* que presta um serviço público de manutenção [51], no âmbito do projeto PARKER [52], [53]. Este perfil conjuga

duas distribuições de probabilidade, nomeadamente a probabilidade do veículo estar conectado à rede e preparado para carregar; e a probabilidade do veículo estar conectado à rede com potenciais problemas de conexão, descrito em [51]. Este padrão foi aplicado a 30% de todos os veículos da base de dados;

- Perfil de viagem única, uma viagem por dia – Representa os condutores que fazem uma única viagem durante o dia, geralmente entre as 7 e as 16 horas. Supõe-se que represente 10% do número total de veículos, mantendo o mesmo comportamento durante os finais de semana.

Em relação aos fins de semana, para os veículos de passageiros de viagem diária, supõe-se que o padrão de deslocamento tenha duas possibilidades: 50% desses VEs estarem permanentemente ligados na rede, a carregar, enquanto que os outros 50% considera-se a possibilidade de os utilizadores circularem das 8h às 16h.

O perfil de veículos de uso comercial para os fins de semana, segue a tendência encontrada em [53], onde é assumido que estes VEs estão estacionados e ligados à rede elétrica.

A energia necessária dos VEs para cada viagem depende não apenas dos padrões acima mencionados, mas também da distância percorrida pelos VEs. Por exemplo, no dia a dia certos VEs podem percorrer uma distância de 5km enquanto outros percorrem 50km por dia, concluindo que para o mesmo perfil de uso, temos distâncias e consumos energéticos distintos [30]. A fim de modelar o consumo energético de diferentes VEs, foi assumido uma distribuição de distância percorrida por VEs do caso de estudo da ilha de Bornholm [54], [55], na Dinamarca. É de salientar que a distribuição de distância percorrida foi atualizada, a fim de considerar os VEs com grande capacidade de armazenamento.

Neste contexto, a Figura 4.9 ilustra a distribuição da distância percorrida pelo VEs, deste estudo. A distância percorrida é traduzida para energia gasta na viagem tendo por base que qualquer VE gasta 200 Wh/km, de acordo com o estudo em [30].

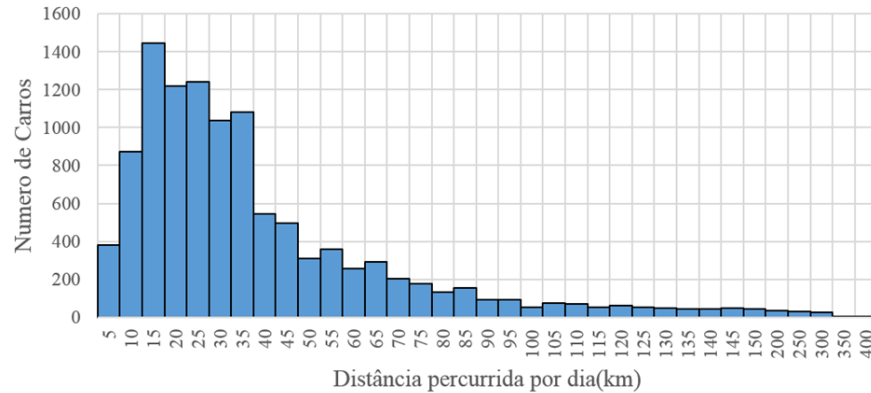


Figura 4.9 – Distribuição da distância percorrida dos VEs, baseando em [30].

4.3 TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA

O Caso de estudo avalia o comportamento dos VEs atuais na Dinamarca para diferentes tarifas de energia elétrica ao longo de um ano. As tarifas de energia elétrica foram modeladas de acordo com as suposições assumidas na secção 3.2.3. Isto é, quatro tarifas distintas foram modeladas com base no *spot price* de ambas as áreas da Dinamarca (DK1 – Oeste; DK2 – Este) para todo o ano de 2017 [56] e no WF, tal como demonstrado na Figura 4.10. O WF foi obtido através do rácio entre a produção renovável e o consumo, como descrito na secção 3.2.3. Os dados de produção e consumo foram obtidos em [56]. O cruzamento entre o *spot price* e o WF para cada uma das 8760 horas do ano de 2017 é representado pelos círculos mostrados na Figura 4.10.

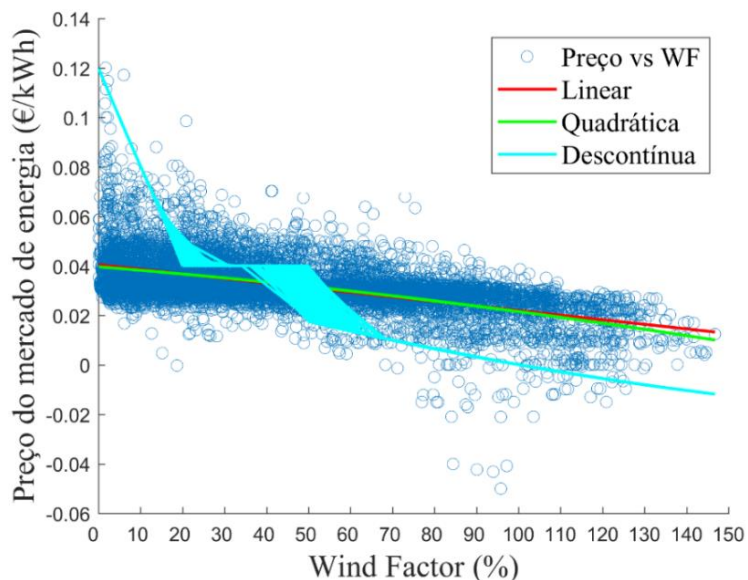


Figura 4.10 – Definição de tarifas elétricas tendo em conta a relação entre o spot price e o WF em 2017, na Dinamarca.

Regressão linear, quadrática e descontínua foram aplicadas à relação entre o *spot price* e o WF. A cada uma das regressões foi aplicado um prémio adicional de 0,088 € / kWh, representando a diferença entre o preço médio anual e o preço horário esperado pelo comercializador de energia (antes de aplicar tarifas de uso da rede e impostos) ao longo do ano [42]. As quatro tarifas diferentes foram geradas:

- A Tarifa Simples é uma tarifa única para todas as horas dos dias do ano. O valor é assumido como a média do *spot price* do mercado para o ano inteiro mais o valor do prémio (lucro ilícido do comercializador), resultando em 0,12 €/kWh;
- A Tarifa horária de variação linear é baseada na regressão linear da Figura 4.10, acrescentando o valor do prémio;
- A Tarifa horária de variação quadrática baseia-se na regressão quadrática da Figura 4.10 acrescida do valor do prémio;
- A Tarifa horária de variação descontínua baseia-se na curva de preços não contínua modelada e mostrada na Figura 4.10, mais o valor do prémio. A variação descontínua é obtida pela combinação de três escalões de preços e a regressão quadrática da Figura 4.10. Mais precisamente, os escalões correspondem ao valor

máximo do preço de energia, o valor médio do preço de energia mais prémio, e o valor mínimo do preço de energia ao longo do ano.

4.4 RESULTADOS

Neste caso de estudo, foi realizada uma simulação diária para todo o ano de 2017, ou seja, foram realizadas 365 simulações para cada uma das quatro tarifas abordadas neste estudo referidas na secção anterior. Todas as simulações apresentadas neste caso de estudo foram desenvolvidas no software GAMS e MATLAB usando abordagens linear inteira mista e determinísticas.

A quantidade total de energia carregada pelos VEs ao longo da primeira semana (1º de Janeiro ao 7 de Janeiro) para cada tarifa, é representada na seguinte Figura 4.11.

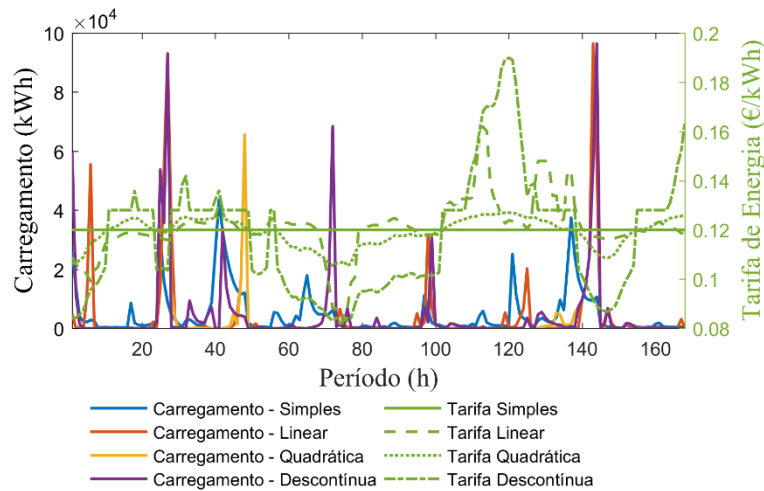


Figura 4.11 – Carregamento dos VEs consoante as diferentes tarifas adotadas para o período de 1 de Janeiro a 7 de Janeiro.

Verifica-se que o carregamento dos VEs segue o valor das tarifas ao longo do tempo. Isto é, os VEs tendem a carregar nos períodos onde as tarifas são mais baixas de forma a minimizarem o custo de energia. Assim, picos de carregamento dos VEs, acontecem nos períodos de menor tarifa.

As tarifas horárias estimulam os proprietários de VEs a carregar as suas baterias quando as tarifas são mais baratas, na expectativa de contabilizar os preços do dia seguinte. A tarifa horária de variação descontínua é a tarifa com maiores picos de carga,

pois é a tarifa mais barata. De referir que o comportamento é cíclico para cada dia, dado que esta simulação é de âmbito diário.

Alternativamente e para a tarifa simples, o carregamento dos VEs ocorre sempre que há a necessidade de carregar os VEs para colmatar as necessidades de viagem, visto que a tarifa é constante e, portanto, não existe motivação económica para deslocar a carga de períodos de pico para períodos de vazio. Assim sendo, a tarifa simples tende a comportar-se sempre da mesma forma, uma vez que a tarifa aplicada é sempre a mesma para todas as horas do dia.

A Figura 4.12 reflete o comportamento do carregamento dos VEs em função do WF. É de salientar que quanto maior for o rácio WF (i.e., maior quantidade de energia eólica por consumo), mais VEs carregam nesses períodos.

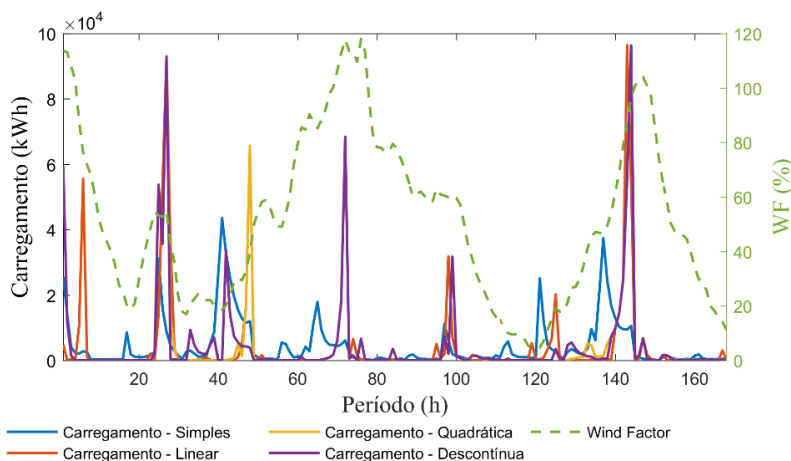


Figura 4.12 – Carregamento dos VEs consoante o WF entre 1 a 7 de Janeiro.

Analisando a Figura 4.11 e Figura 4.12 em simultâneo, verifica-se que nos períodos em que o WF é maior, as tarifas têm preços mais baixos e vice-versa. Deste modo, valida-se a modelação das tarifas energéticas em função do WF.

Por outro lado, o SOC médio de todos os VEs sob cada esquema tarifário é observado na Figura 4.13. Até certo ponto, o comportamento repetitivo dos VEs sobre a tarifa simples é visível quando há a necessidade de carregar os VEs. Verifica-se que maior parte dos proprietários carregam os VEs à noite com a quantidade de energia mínima necessária para a viagem seguinte.

Em contraste, as tarifas horárias tentam manter um nível elevado de SOC quando a tarifa é mais barata para ser usada durante viagens e períodos em que a tarifa é mais

elevada. Assim sendo, em períodos com alta produção de energia eólica, a bateria é carregada o máximo possível, enquanto que em períodos e dias com baixa geração eólica, a energia armazenada na bateria é utilizada para as viagens e somente carregada quando realmente necessário.

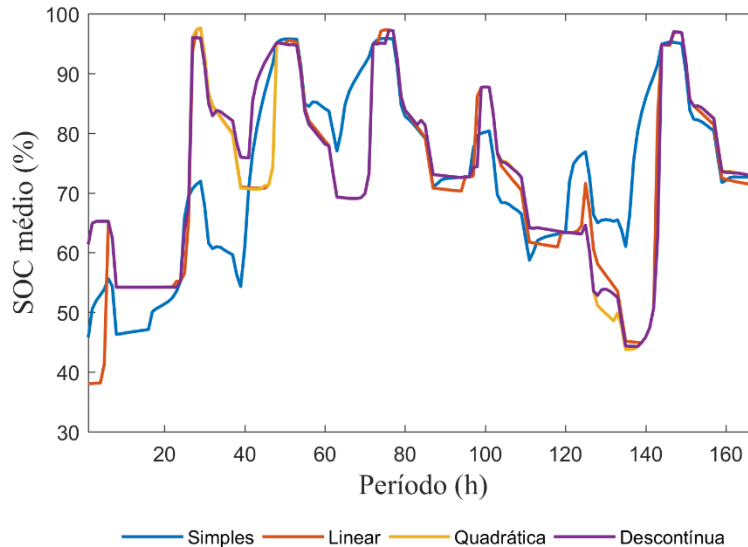


Figura 4.13 – SOC (State-of-Charge) médio no período de 1 a 7 de Janeiro.

O cronograma de carregamento durante a semana para os VEs considerando os diferentes perfis de condução é ilustrado na Figura 4.14. Como esperado, os VEs sob o perfil de viagem diária têm maior poder de carga do que os VEs referentes aos restantes perfis de condução, uma vez que são aplicados a 60% de todos os VEs. Os VEs carregam a maior parte das vezes durante a noite entre as 22h e 6h, uma vez que é o período horário com tarifas mais baixas e quando os carros estão conectados à rede. Vale a pena mencionar que durante a semana, muitos carros não carregam ou carregam pequenas quantidades de energia para manter energia suficiente para a viagem do dia seguinte. Isto é particularmente pertinente nos VEs com grande capacidade de bateria considerando viagens diárias curtas. Assim, os VEs com grande capacidade de carga, como os modelos Tesla, com pequenas viagens durante a semana, não são carregados com tanta frequência como os modelos de VEs de pequena capacidade. Então os modelos como o Tesla só carregam quando precisam de energia ou se o preço é muito baixo em comparação com o esperado para o dia seguinte.

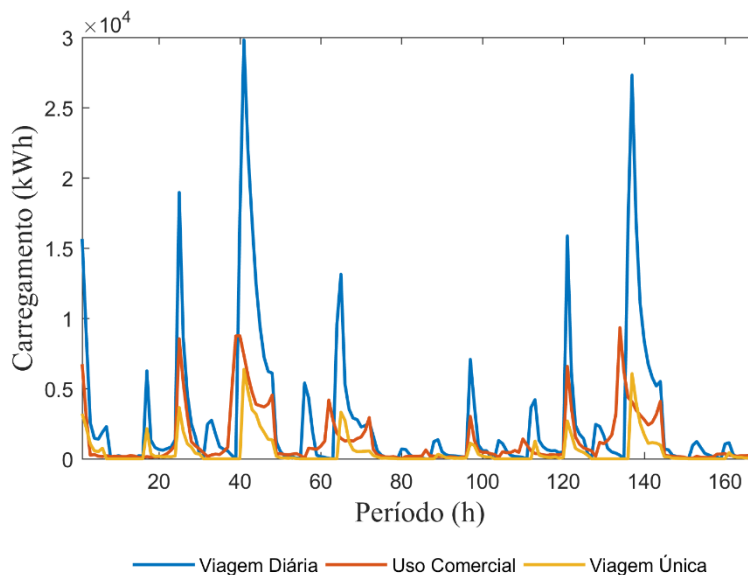


Figura 4.14 – Carregamento dos VEs por perfil de condução entre 1 a 7 de Janeiro.

Os VEs dos perfis de uso comercial e de viagem única são consideravelmente menores a nível de unidades e consumo, daí que têm menor impacto no sistema. Contudo, verifica-se que os VEs de ambos os perfis seguem os períodos horários com menor tarifa a fim de minimizar os custos de energia.

Os custos de energia para carregar todos os VEs ao longo do ano, considerando os padrões de condução e as necessidades de energia estão resumidos na Tabela 4.1. O uso da tarifa simples para os VEs é o que tem menos instabilidade no escalonamento do carregamento, mas é o mais caro. A tarifa mais barata para os VEs ao longo do ano é a tarifa de variação descontínua. De fato, os VEs podem economizar até 9,35% na fatura energética, por meio da tarifa descontínua, quando comparada à tarifa simples. Alternativamente, os VEs podem escolher as tarifas lineares e quadráticas, com as poupanças entre 2,97% e 7,40%, respetivamente.

É de salientar que independentemente da tarifa selecionada, o carregamento total para o ano inteiro ascende os 3.622×10^7 MW. Além disso, um índice que avalia a justiça de cada tarifa para o carregamento dos VEs é apresentado na tabela. O nível de justiça é denominado de *Quality of Experience* (QoE), e mede a variação de preços de carregamento entre os VEs [57]. O nível de justiça entre os VEs é mais elevado quanto mais próximo de 1 for o QoE. Os resultados mostram que a justiça melhora quando os VEs passam da tarifa simples para a tarifa descontínua. Assim sendo, o índice QoE

captura a resposta dos VEs às tarifas horárias disponíveis pelo comercializador, o que poderá levar a uma melhor penetração de energia renovável.

Tarifa	Função Objetivo (M€)	QoE	σ
Simple	4,204	0,67	0,166
Linear	3,893	0,69	0,157
Quadrática	4,079	0,70	0,168
Descontínua	3,811	0,73	0,149

Tabela 4.1 – Custos ao longo do ano e índice para avaliação do carregamento dos VEs.

Neste contexto, os operadores de sistema, podem beneficiar da integração de tarifas em tempo real, incentivando os VEs a mudar sua procura, para períodos em que as fontes renováveis são a principal fonte de produção. Da mesma forma, os comercializadores de energia podem obter a energia de acordo com a procura, nos períodos mais baratos para atenderem as necessidades dos VEs.

Todos os resultados apresentados anteriormente consideram a aplicação do modelo de comportamento socioeconómico desenvolvido nesta dissertação. Isto é, o escalonamento do carregamento dos VEs é influenciado pelos níveis de ansiedades dos condutores a responderem às diferentes tarifas apresentadas. Deste modo, é imprescindível avaliar o efeito comportamental e económico que o conceito socioeconómico tem sobre os utilizadores dos VEs. A Tabela 4.2 apresenta o custo total para carregamentos dos VEs considerando e desconsiderando a modelação do comportamento socioeconómico.

Tarifa	Função Objetivo (M€)	
	c/ modelo socioeconómico	s/ modelo socioeconómico
Simple	4,204	4,204
Linear	3,893	4,084
Quadrática	4,079	4,152
Descontínua	3,811	3,953

Tabela 4.2 – Custo anual de carregamento dos VEs com e sem modelo socioeconómico.

Vale a pena ressaltar que o custo de carregamento dos VEs ao longo do ano não considerando o modelo socioeconómico é superior ao custo de carregamento quando considerando o modelo socioeconómico. De facto, a diferença entre considerar ou não o modelo de comportamento socioeconómico para as tarifas de perfil linear, quadrático e descontínua é de 4.91%, 1.79% e 3.73%, respetivamente.

4.5 CONCLUSÃO

Esta secção apresenta as principais conclusões do caso de estudo relacionado com o carregamento dos VEs ao menor custo possível. Além disso, o presente caso de estudo contempla uma análise de dados de VEs existentes na Dinamarca. Vale a pena ressaltar que o caso de estudo foi elaborado de forma a demonstrar as características do modelo proposto, sobressaindo a importância da correta modelação de perfis de condução e de tarifas de energia elétrica.

No que diz respeito à análise dos dados de VEs dinamarquesa, é de referir que foram selecionados 11088 VEs entre PHEV e BEV. Os dados dos VEs foram previamente tratados de forma a uniformizar as características elétricas dos mesmos. A análise dos dados mostra que a Tesla é a marca com mais BEVs no mercado dinamarquês, possuindo uma partilha do mercado a rondar os 44%.

No que se refere à simulação do escalonamento do carregamento dos VEs ao longo de um ano, os resultados demonstram que as diferentes tarifas promovem diferentes comportamentos. Isto é, as tarifas horárias motivam os utilizadores a carregar os veículos nos períodos mais baratos para utilizarem nas viagens. É demonstrado que a tarifa descontínua é a que apresenta maior vantagens para o utilizador do VE, pois é que menor custo comporta ao longo do ano. Mais precisamente, os VEs podem poupar até 9.35% pela seleção da tarifa descontínua face à tarifa simples. Por outro lado, esta mesma tarifa é a que obtém melhor índice de QoE, o que implica uma maior permissibilidade à penetração de energia eólica no sistema. Desta forma, este modelo tarifário poderá ser utilizado pelo operador do sistema com o intuito de mover carga para os períodos com maior produção renovável.

A técnica e o solver utilizados garantem a obtenção do ótimo global em cada otimização, o que significa que ao longo do processo de simulação, a melhor solução

possível foi encontrada. De realçar, que a simulação de cada dia atingiu uma média de 12 segundos, o que implica 4380 segundos (≈ 73 minutos) para a simulação do ano inteiro.

Não obstante, vale ressaltar que a metodologia proposta é devidamente analisada e validada no presente capítulo. O impacto desta metodologia no carregamento dos VEs é evidente sendo as principais contribuições do modelo apresentadas e discutidas no capítulo subsequente.

5 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Neste capítulo, as principais conclusões e contribuições no âmbito desta dissertação, bem como as perspectivas de trabalho futuro são apresentadas.

5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES

A continua proliferação de VEs em vários países levará a uma redução gradual das emissões de carbono no sector dos transportes. Tal utilização de VEs terá um impacto significativo no sistema elétrico de energia, principalmente nas redes de média e baixa tensão. Este aumento de consumo torna-se mais preocupante aquando do carregamento simultâneo dos VEs em determinados períodos do dia, chamado de *dumb charge*.

Uma das formas de atenuar o carregamento simultâneo dos VEs e de mover carga para diferentes períodos, é através da implementação de tarifas horárias que motivem os consumidores a mudar o seu perfil de consumo. A modelação de tarifas horárias é uma ferramenta útil para os operadores de sistema e comercializadores de energia

incentivarem os consumidores a mudar temporalmente o seu consumo, sem necessidade de controlo destes agentes no sistema.

Um dos objetivos identificados nesta dissertação passa pela conceção e desenvolvimento de modelos de tarifas elétricas direcionadas para os utilizadores de VEs. Neste contexto, uma das principais contribuições desta dissertação reside na conceção e desenvolvimento de um modelo de simulação de diferentes tarifas horárias, permitindo que os operadores do sistema e comercializadores de energia testem e validem diferentes esquemas tarifários para influenciar o comportamento dos VEs. Mais precisamente, foram modelados quatro esquemas diferentes de tarifas horárias, capazes de relacionar a produção eólica ao consumo energético com a variação do preço de energia no mercado ao longo de um ano. *(i)* A tarifa simples define-se de preço único ao longo do dia; *(ii)* a tarifa de perfil linear, em que uma regressão linear do índice WF com o preço de mercado é considerado; *(iii)* a tarifa de perfil quadrática; e *(iv)* a tarifa descontínua que é uma simbiose entre escalões de preços e regressão quadrática.

Não obstante, a ferramenta é complementada com a modelação de perfis de consumo baseado nas viagens dos VEs, distinguidos em três subcategorias diferentes. *(i)* perfil de viagens diárias, *(ii)* perfil de uso comercial e *(iii)* perfil de viagem única. Além disso, uma grande contribuição desta dissertação reside na modelização do comportamento socioeconómico dos utilizadores dos VEs que vai ao encontro de um dos objetivos desta dissertação, nomeadamente a integração de mecanismos socioeconómicos para a premeditação do comportamento dos utilizadores de VEs face às tarifas desenhadas. O comportamento dos utilizadores face às tarifas disponibilizadas foi modelizado considerando uma escala de ansiedade. Deste modo, os utilizadores mais sensíveis respondem rapidamente às tarifas horárias deslocalizando temporalmente o carregamento dos VEs para as horas com menor preço do dia. Contrariamente, utilizadores menos ansiosos não modificam o seu carregamento tão espontaneamente requerendo tarifas mais atrativas para o fazerem.

A ferramenta proposta é validada através de um estudo de caso baseado nos VEs existentes na Dinamarca. Mais precisamente, dados de 11088 VEs foram recolhidos da base de dados do registo de automóveis da Dinamarca. Os dados foram tratados e analisados, mostrando que os dinamarqueses têm uma larga preferência por veículos

Tesla, sendo o fabricante com mais VEs vendidos. Além disso, simulações diárias de carregamento dos VEs para um ano inteiro foram executadas. As simulações demonstram que a maioria dos proprietários dos VEs carrega o veículo durante a noite, quando o veículo está estacionado e não é obrigado a circular. Muitas vezes, este período coincide com os períodos de maior produção eólica e, portanto, com tarifas horárias mais vantajosas. Vale ressaltar que os VEs podem atingir uma poupança na fatura energética de até 9,35% pela seleção da tarifa descontínua, face à tarifa simples. Assim, o comportamento dos utilizadores dos VEs mudam sob diferentes tarifas devido ao preço estipulado em cada tarifa.

Outro objetivo atingido por esta dissertação reside na análise da modelização de diferentes tarifas através de mecanismos de avaliação de justiça. Mais precisamente, foi implementado o nível de justiça denominado de *Quality of Experience*, utilizado para medir a variação de preços de carregamento entre VEs. Este índice mostra que a justiça melhora quando os VEs passam da tarifa simples para a tarifa descontínua. Assim, o índice captura a resposta dos VEs às tarifas horárias propostas nesta dissertação, podendo levar a uma melhor penetração de energia eólica.

Por fim, vale realçar que a ferramenta proposta disponibiliza a modelização de diferentes tarifas, perfis de viagem e comportamento socioeconómico dos VEs, sendo útil para os operadores de sistema e comercializadores de energia, a fim de colmatar necessidades de flexibilidade da procura. Este trabalho resultou na publicação e apresentação de um artigo científico na *13th IEEE PowerTech Conference*.

5.2 PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO

Ao longo da elaboração desta dissertação, várias ideias emergiram para melhorar o presente trabalho. Entre os avanços disponibilizados, desenvolvimentos futuros estende-se a:

- Adaptar a metodologia com a possibilidade dos VEs descarregarem energia para a rede;
- Adaptar a ferramenta com diferentes esquemas de tarifas relacionadas com o descarregamento de energia pelos VEs;
- Expandir o estudo de caso para diferentes países, p. ex. Portugal, Noruega, Alemanha e França. Estes três últimos são de especial interesse devido ao elevado número de VEs existentes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] European Automobile Manufacturers Association, “Overview of tax incentives for electric vehicles in the EU,” *ACEA - European Automobile Manufacturers’ Association*. 2017.
- [2] Z. Yang, P. Slowik, N. Lutsey, and S. Searle, “Principles for Effective Electric Vehicle Incentive Design,” *Int. Counc. Clean Transp.*, no. June, p. 37, 2016.
- [3] R. Garcia-Valle and J. A. P. Lopes, “Electric vehicle integration into modern power networks,” *1st ed. New York Springer-Verlag*, 2013.
- [4] J. Hu, H. Morais, T. Sousa, and M. Lind, “Electric vehicle fleet management in smart grids: A review of services, optimization and control aspects,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56. Elsevier Ltd, pp. 1207–1226, 01-Apr-2016.
- [5] K. M. Tan, V. K. Ramachandaramurthy, and J. Y. Yong, “Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53. Elsevier Ltd, pp. 720–732, 01-Jan-2016.
- [6] S. Barmada, M. Raugi, R. Rizzo, and M. Tucci, “Channel evaluation for power line communication in plug - In electric vehicles,” *IET Electr. Syst. Transp.*, vol. 2, no. 4, pp. 195–201, Dec. 2012.
- [7] Michaël TORREGROSSA, “Le coût de recharge d’une voiture électrique,” *Automobile Propre*, 2018. [Online]. Available: <https://www.automobile-propre.com/dossiers/cout-prix-recharge-voiture-electrique/>. [Accessed: 16-Dec-2018].
- [8] Electrive.com, “Germany’s Telekom launches one charging fee for all,” 2018. [Online]. Available: <https://www.electrive.com/2018/12/04/germanys-telekom-launches-one-charging-fee-for-all/>. [Accessed: 15-Feb-2019].
- [9] M. House, “Use green energy to charge more cheaply at night,” 2018. [Online]. Available: https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledge-center/day-night-tariff-for-electric-car-drivers-use-green-energy.
- [10] TESLA, “Carregamento com Supercharger,” 2019. [Online]. Available: https://www.tesla.com/pt_PT/support/supercharging?redirect=no.
- [11] E.ON Energie, “E.ON Drive PowerBox,” *E.ON Energie Deutschland GmbH*,

2019. [Online]. Available: <https://www.eon.de/de/pk/e-mobility/zuhause.html>.
- [12] P. Kloth, “Elektroauto - Kosten einer Aufladung an E-Tankstellen (100 km).” [Online]. Available: <http://translate.google.com/translate?hl=en&sl=auto&tl=en&u=https%3A%2F%2Fwww.energieheld.de%2Fmobilitaet%2Felektroauto%2Fkosten%2Faufladung-verbrauch-100-kilometer&anno=2>. [Accessed: 22-Feb-2019].
- [13] E.ON, “Park and charge with EasyPark,” *23 January 2018*, 2018. .
- [14] M. KANE, “In Denmark Clever Offers Unlimited Plan For Home & Public Charging For At A Fixed Price,” *5/01/2017*, 2017. [Online]. Available: <https://insideevs.com/denmark-clever-offers-unlimited-plan-home-public-charging-fixed-price/>.
- [15] C. Solutions, “HOW TO SUBSCRIBE TO CHARGING WITH CLEANCHARGE,” 2019. [Online]. Available: <https://cleancharge.dk/subscription/>. [Accessed: 24-Jan-2019].
- [16] Tesla, “Tesla,” 2019. [Online]. Available: https://www.tesla.com/da_DK/supercharger. [Accessed: 18-Jan-2019].
- [17] R. Scobeltzine, “le tri-standard obligatoire jusqu’en 2024,” *N°235*, 2018. [Online]. Available: <https://www.flotauto.com/tri-standard-obligatoire-2024-20180221.html>. [Accessed: 18-Jan-2019].
- [18] Wattson, “Quanto custa carregar um elétrico num posto rápido? Já há valores.” [Online]. Available: <https://www.wattson.pt/2018/10/18/7802/>. [Accessed: 03-Jan-2018].
- [19] Pedro Pinto, “Portugal: Supercarregadores da Tesla já funcionam,” *03/01/2018*, 2018. [Online]. Available: <https://pplware.sapo.pt/informacao/portugal-supercarregadores-da-tesla-ja-funcionam-saiba-os-precos/>. [Accessed: 16-Jan-2019].
- [20] D. F. Nunes, “Carregar veículos elétricos começa a ser pago a 1 de novembro,” 2018. [Online]. Available: <https://www.dinheirovivo.pt/economia/carregar-veiculos-eletricos-comeca-a-ser-pago-a-1-de-novembro/>.
- [21] C. Lilly, “What EV energy tariffs are available,” *November 28, 2018*, 2018. [Online]. Available: <https://www.zap-map.com/ev-energy-tariffs/>. [Accessed: 16-Jan-2019].
- [22] S. Speidel and T. Bräunl, “Driving and charging patterns of electric vehicles for energy usage,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 40. Elsevier Ltd, pp. 97–110, 2014.
- [23] ABS, “Survey of Motor Vehicle Use,” Canberra, 2011.
- [24] A. Braun and W. Rid, “The influence of driving patterns on energy consumption in electric car driving and the role of regenerative braking,” in *Transportation Research Procedia*, 2017, vol. 22, pp. 174–182.
- [25] B. B. Krogh, O. Andersen, and K. Torp, “Electric and conventional vehicle driving

- patterns,” 2015, pp. 473–476.
- [26] CLEVER, “Projekt Test-en-elbil,” 2014. [Online]. Available: testenelbil.dk. [Accessed: 20-Apr-2005].
- [27] N. Jakobsson, S. Karlsson, and F. Sprei, “How are driving patterns adjusted to the use of a battery electric vehicle in two-car households?,” *EVS 2016 - 29th Int. Electr. Veh. Symp.*, pp. 1–10, 2016.
- [28] Y. Wang, R. Wang, and H. Zhang, “Research of Dynamic Time-of-use Tariffs for PEV Charging Stations Based on User Behavior Habits,” in *2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration, EI2 2018 - Proceedings*, 2018.
- [29] J. M. Clairand, J. R. Garcia, C. A. Bel, and P. P. Sarmiento, “A tariff system for electric vehicle smart charging to increase renewable energy sources use,” in *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America, ISGT Latin America 2017*, 2017, vol. 2017-Janua, pp. 1–6.
- [30] S. Martinenas, A. B. Pedersen, M. Marinelli, P. B. Andersen, and C. Traeholt, “Electric vehicle smart charging using dynamic price signal,” in *2014 IEEE International Electric Vehicle Conference, IEVC 2014*, 2015.
- [31] J. M. Clairand, J. R. Garcia, and C. A. Bel, “Smart charging for an electric vehicle aggregator considering user tariff preference,” in *2017 IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT 2017*, 2017.
- [32] P. Liu, J. Yu, S. Fan, K. Bi, and Q. An, “PEV Charging Coordination Using Adaptive Time-of-Use Tariffs to Reduce Wind Energy Curtailment,” in *ITEC Asia-Pacific 2018 - 2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific: E-Mobility: A Journey from Now and Beyond*, 2018.
- [33] P. Liu, J. Yu, K. Fan, and M. Eissa, “PEV charging coordination to absorb excess wind energy via group differentiated dual-tariff schemes,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 151, pp. 208–217, Oct. 2017.
- [34] N. O’Connell, Q. Wu, J. Østergaard, A. H. Nielsen, S. T. Cha, and Y. Ding, “Electric Vehicle (EV) charging management with dynamic distribution system tariff,” in *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe*, 2011.
- [35] P. Ringler, L. Dörr, A. Ensslen, P. Jochem, W. Fichtner, and F. Zimmermann, “Incentivizing smart charging: Modeling charging tariffs for electric vehicles in German and French electricity markets,” *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 42, no. June 2017, pp. 112–126, 2018.
- [36] H. Morais, T. Sousa, M. Silva, P. Faria, and Z. Vale, *Real-Time Tariffs for Electric Vehicles in Wind Power based Power Systems*. 2003.
- [37] Klaas Würzburg, X. Labandeira, and P. Linares, “Renewable generation and electricity prices: Taking stock and new evidence for Germany and Austria,” *Energy Econ.*, vol. 40, 1, pp. s159–s171, 2013.
- [38] Karsten Capion, M. Stryg, and K. R. Poulsen, “Electricity price outlook 2018:

- Perspectives for the power price in North West Europe towards 2035,” *Dansk Energi*, 2018.
- [39] A. Miles, “The secret life of an EV battery,” *cleantechnica*, 2018. [Online]. Available: <https://cleantechnica.com/2018/08/26/the-secret-life-of-an-ev-battery/>. [Accessed: 09-Jul-2019].
- [40] M. Hamilton, “The assessment of anxiety states by rating,” 1959.
- [41] ERSE, “Tarifas e preços para a energia elétrica e outros serviços em 2019,” *Diário da República*, vol. 2.^a série, pp. 2619–2654, 2019.
- [42] L. Kitzing, J. Katz, S. T. Schröder, P. E. Morthorst, and F. M. Andersen, *The residential electricity sector in Denmark: A description of current conditions*, vol. Dep. Manag. 2016.
- [43] O. Elpris.dk, “Fast pris og variabel pris,” 2019. [Online]. Available: http://elpris.dk/#/article/faste_og_variable_priser. [Accessed: 09-Jul-2019].
- [44] J. Notenboom, P. Boot, R. Koelemeijer, and J. Ros, “Climate and energy roadmaps towards 2050 in north-western Europe,” *Netherlands Environ. Assess. Agency*, 2012.
- [45] T. Jónsson, P. Pinson, and H. Madsen, “On the market impact of wind energy forecasts,” *Energy Econ*, vol. 32, no. 2, pp. 313–320, 2010.
- [46] WindEurope, “Wind in power 2017 - Annual combined onshore and offshore wind energy statistics,” 2018.
- [47] I. E. A.-H. & E. V. IEA-HEV, “Denmark - On the Road and Deployments.” [Online]. Available: <http://www.ieahev.org/by-country/demark-on-the-road-and-deployments/>.
- [48] K. ApS, “NRPLA.DE,” 2018. [Online]. Available: www.nrpla.de/soeg. [Accessed: 05-Jul-2018].
- [49] S. Digitale, “SKAT, MotorRegister in Danish.” [Online]. Available: <https://motorregister.skat.dk/>. [Accessed: 05-Jul-2018].
- [50] Tesla, “Tesla Model S,” 2018. [Online]. Available: <https://www.tesla.com/models>. [Accessed: 20-Oct-2018].
- [51] T. Soares, T. Sousa, P. B. Andersen, and P. Pinson, “Optimal offering strategy of an EV aggregator in the frequency-controlled normal operation reserve market,” in *15th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, 2018, pp. 1–6.
- [52] A. Gadea, “Utility electric vehicle fleet usage patterns - Understanding demand from electric vehicles,PARKER project,” 2016.
- [53] T. Soares and P. B. Andersen, “Utility Electric Vehicle Fleet Usage Patterns – Understanding and optimizing aggregator participation,” PARKER project,” Lyngby, Denmark, 2016.
- [54] H. Christiansen and B. Z. Skougaard, “Documentation of the Danish National

- Travel Survey,” Survey, 2015.
- [55] A. Thingvad, “ACES - Across continents electric vehicle services,” 2018. [Online]. Available: www.aces-bornholm.eu.
- [56] Energinet.dk, “Energy Data Service.” [Online]. Available: www.energidataservice.dk/en/.
- [57] T. Hobfeld, L. Skorin-Kapov, P. E. Heegaard, and M. Varela, “Definition of QoE Fairness in Shared Systems,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 21, no. 1, pp. 184–187, Jan. 2017.