

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Análise do Potencial de Veículos Solares em Portugal

António José Marques Martins Ferreira

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Orientador: Vítor Manuel da Silva Leal

11 de Outubro de 2021

Análise do Potencial de Veículos Solares em Portugal

António José Marques Martins Ferreira

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Prof. Paulo Coelho

Arguente: Prof. Jorge Sousa

11 de Outubro de 2021

Abstract

The current technological setting allowed the development and integration of photovoltaic cells in vehicles, with capacity to generate enough energy to drive a few dozens of kilometers, daily.

Firstly, a theoretical approach was fulfilled, focused on relevant topics, like solar radiation as an abundant energy source and the working principle of photovoltaic panels, which convert a fraction of that energy. The analysis of the technological automotive evolution, became important to determine the reference characteristics of the vehicles and the photovoltaic panels.

Subsequently, the determination of the autonomy gain was accomplished, based on the horary values of the global horizontal solar irradiance, available on the portuguese software *Solterm5*. Added with the pre established values of the photovoltaic panels parameters, it was possible to estimate the daily, monthly and yearly autonomy in several geographic country zones. After the results obtainment it was possible to draw conclusions, either by the tabulated values or by graphical interpretations of potential of the technology under study, in our country.

Thus, a mobility study took place and driver profiles were created to represent typical average distance values, with a daily and weekly standpoint. Thereafter, these values were compared with the previously determined autonomy values, to evaluate the sustainability degree and technological viability.

Finally, an economical and environmental benefits analysis was performed. It was possible to deduce that the reduction potential of GGE emissions, considering the average age of portuguese vehicles, is considerable and because of that, solar automobiles can be an excellent choice. Regarding economical aspects, the substitution of combustion engine vehicles for solar vehicles is advantageous, as much as more kilometers are driven. The annual solar vehicle cost of energy can be about 25 times lower than a diesel vehicle.

Keywords: autonomy, mobility, solar vehicles, photovoltaic panels

Resumo

O cenário tecnológico recente permitiu o desenvolvimento e integração de células fotovoltaicas em veículos, com capacidade de transformar energia suficiente para a realização de algumas dezenas de quilómetros, diariamente.

Primeiramente, realizou-se uma abordagem teórica, incidente nas temáticas relevantes, como a radiação solar enquanto fonte de energia abundante, e o princípio de funcionamento dos painéis fotovoltaicos que convertem parte dessa energia. A análise da evolução da tecnologia automotiva em estudo, tornou-se pertinente para a determinação das características de referência dos veículos e dos painéis fotovoltaicos a considerar.

Seguidamente, procedeu-se à determinação do ganho de autonomia, tendo por base os valores horários de irradiação solar global horizontal, disponibilizados pelo *software* português Solterm5. Juntamente com os valores preestabelecidos dos parâmetros dos painéis foi possível estimar a autonomia diária, mensal e anual em diversas zonas geográficas do país. Após a obtenção dos resultados foi possível retirar ilações, quer pelo intermédio de tabelas, quer por interpretações gráficas sobre a potencialidade da tecnologia em causa, no nosso país.

Posto isto, efetuou-se o estudo da mobilidade e foram criados perfis de condutores representativos da distância média percorrida, do ponto de vista diário e semanal. Posteriormente, esses valores foram confrontados com os valores de autonomia obtidos para determinar o grau de sustentabilidade e viabilidade da tecnologia.

Finalmente, realizou-se a análise de benefícios económicos e ambientais. Concluiu-se que o potencial de redução de emissão de gases, tendo em consideração que a idade do parque automóvel português, é considerável e por isso, automóveis solares poderão constituir uma excelente alternativa. Em termos económicos, a substituição de um veículo de combustão interna por um veículo solar é compensatória, tanto mais quanto mais quilómetros forem percorridos. O custo anual de energia de um veículo solar pode ser cerca de 25 vezes inferior ao de um veículo a gasóleo.

Palavras-chave: autonomia, mobilidade, veículos solares, painéis fotovoltaicos

Agradecimentos

A elaboração e conclusão desta dissertação só foram possíveis, devido ao empenho e resiliência do autor, assim como de um conjunto de pessoas que contribuíram com diversas formas de apoio. Assim sendo, expresso o meu profundo agradecimento a todos os envolvidos no processo.

Ao professor Vítor Leal, o meu orientador, que sugeriu o tema e se prontificou, desde o momento inicial, a retirar eventuais dúvidas, assim como dar sugestões valiosas na elaboração de diversos tópicos de trabalho. Agradeço pela disponibilidade, simpatia e paixão que demonstrou sobre uma temática que considero verdadeiramente interessante.

À minha família, pais e irmãs, que sempre me incentivaram durante todo o meu percurso com o apoio, carinho, compreensão e muita paciência. Manifesto a minha gratidão, pelas longas horas de conversa pelos conselhos sábios e pelos excelentes momentos que me proporcionaram.

Aos meus amigos, que são uma estrutura de suporte vital e que sem os quais não estaria onde estou hoje. Aos camaradas do estúdio, o Tiago pelo companheirismo, amizade e irmandade. Ao André pelos momentos musicais, e pelos momentos de relaxamento oportunos. Ao Tózé pelos bons conselhos, e pelas risadas características. À Francisca pela motivação e força inabaláveis. Queria aproveitar também para manifestar o meu agradecimento ao Fernando, por mostrar sempre disponibilidade em ajudar-me e por vivenciar tantos momentos comigo, bem como os restantes camaradas da FEUP.

António José Ferreira

*“And so you touch this limit, something happens and you suddenly can go a little bit further.
With your mind power, your determination, your instinct, and the experience as well, you can fly
very high.”*

Ayrton Senna

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Estrutura da dissertação	2
2	Enquadramento Teórico	3
2.1	Radiação Solar	4
2.2	Painéis Fotovoltaicos	5
2.3	Evolução na tecnologia automotiva	6
2.3.1	Fisker Karma	6
2.3.2	Toyota Prius 2010	8
2.3.3	Toyota Prius 2019	9
2.3.4	Hyundai Sonata	10
2.3.5	Hyundai Ioniq 5	11
2.3.6	Sono Motors Sion	12
2.3.7	Aptera 3	13
2.3.8	Lightyear One	15
2.3.9	Tesla	16
2.3.10	Vantagens e Desvantagens desta tecnologia automotiva	17
3	Análise Simples da Autonomia Solar Potencial	19
3.1	Procedimento de cálculo	20
3.2	Análise e discussão de resultados	23
4	Análise com dados e cenários de mobilidade	27
4.1	Tratamento de dados	29
4.1.1	Análise diária	29
4.1.2	Análise semanal	34
4.2	Discussão de resultados	38
4.2.1	Análise diária	38
4.2.2	Análise semanal	42
4.3	Disponibilidade de carregamento	45
5	Análise de Benefícios	47
5.1	Benefícios Ambientais	49
5.2	Benefícios económicos	54

6	Fecho	65
6.1	Conclusões	65
6.2	Sugestão de trabalhos futuros	66
	Referências	69
A	Anexos	71
A.1	Código <i>Excel</i> VBA utilizado nos capítulo 3 e 4	71
A.1.1	Capítulo 3	71
A.1.2	Capítulo 4	77

Lista de Figuras

2.1	Diagrama da distribuição da radiação ao nível do solo(16)	4
2.2	Automóvel Fisker Karma(35)	7
2.3	Painel fotovoltaico integrado no Fisker Karma(35)	7
2.4	Toyota Prius com imagem do interior e do painel fotovoltaico integrado.	8
2.5	Toyota Prius desenvolvido em parceria com a Sharp	10
2.6	Painel do Hyundai Sonata coberto com folhas. (32)	11
2.7	Vista de cima do Hyundai Sonata.	11
2.8	Hyundai Ioniq 5(31)	12
2.9	Sono Sion-vista lateral.(24)	13
2.10	Aptera 3-parte estrutural e demais componentes.(34)	15
2.11	Lightyear One	16
3.1	Radiação global horizontal diária para as duas cidades principais portuguesas.	20
3.2	Radiação global horizontal mensal para as duas cidades principais portuguesas.	21
3.3	Radiação Global Horizontal Mensal para as cidades portuguesas mencionadas.	21
3.4	Autonomia solar diária para os 2 cenários tecnológicos em estudo no Porto.	23
3.5	Autonomia solar diária para os 2 cenários tecnológicos em estudo em Lisboa.	24
3.6	Autonomia solar mensal para os 2 cenários tecnológicos em estudo no Porto.	25
3.7	Autonomia solar mensal para os 2 cenários tecnológicos em estudo em Lisboa.	25
3.8	Autonomia Mensal para as cidades portuguesas mencionadas.	26
4.1	Primeira série de condutores e os respetivos trajetos percorridos para as duas cidades em análise.	29
4.2	Segunda série de condutores e os respetivos trajetos percorridos para as duas cidades em análise	30
4.3	Terceira série de condutores e os respetivos trajetos percorridos para as duas cidades em análise.	30
4.4	Distância percorrida em Modo Solar e em Carregamento Externo para a AMP com a Tecnologia Atual.	39
4.5	Distância percorrida em Modo Solar e em Carregamento Externo para a AML com a Tecnologia Atual.	40
4.6	Confrontação entre o fator No charge e o fator Quilómetros MS* para a AMP com a Tecnologia Atual.	41
4.7	Confrontação entre o fator No charge e o fator Quilómetros MS* para a AML com a Tecnologia Atual.	41
4.8	Distância percorrida em Modo Solar e em Carregamento Externo para a AMP com a Tecnologia Atual.	43

4.9	Distância percorrida em Modo Solar e em Carregamento Externo para a AML com a Tecnologia Atual.	43
4.10	Distância percorrida em Modo Solar e em Carregamento Externo para a AML com a Tecnologia Atual.	44
4.11	Distância percorrida em Modo Solar e em Carregamento Externo para a AML com a Tecnologia Atual.	45
5.1	Distribuição do parque automóvel português em função da idade e tipo de energia.	48
5.2	Tabela com a legislação imposta pela UE com respeito às normas de emissão de gases poluentes em g/km para veículos de passageiros.(9)	50
5.3	Distribuição média das emissões de CO_2 , por quilómetro, para veículos de passageiros em Portugal.(11)	53
5.4	Emissão total de CO_2 para veículos de passageiros em Portugal, condutor I do Porto.	54
5.5	Consumo de energia em função do tipo de veículo em causa.	57
5.6	Custo anual de energia para o condutor perfil MED do Porto.	58
5.7	Custo anual de energia para o condutor perfil MED de Lisboa.	58
5.8	Custo anual de energia para o condutor perfil T do Porto.	59
5.9	Custo anual de energia para o condutor perfil T de Lisboa.	59
5.10	Custo anual de energia para o condutor perfil H do Porto.	60
5.11	Custo anual de energia para o condutor perfil H de Lisboa.	60

Lista de Tabelas

2.1	Caracterização dos parâmetros essenciais de cada veículo solar estudado.	17
3.1	Estimativa dos fatores de erro afetantes da eficiência fotovoltaica em percentagem	22
3.2	Resumo das características automotivas essenciais para a tecnologia atual e futura.	23
4.1	Distância média diária percorrida nas áreas metropolitanas(AM) do Porto e Lisboa.(18)	27
4.2	Distribuição dos condutores para as duas cidades, tendo em conta o número de trajetos percorridos.	29
4.3	Distância total diária percorrida pelos condutores gerados para as áreas metropolitanas de Porto e Lisboa	30
4.4	Distância total anual percorrida pelos condutores gerados para as áreas metropolitanas de Porto e Lisboa	31
4.5	Resultados para a tecnologia atual na AMP	32
4.6	Resultados para a tecnologia futura na AMP	32
4.7	Resultados para a tecnologia atual na AML	33
4.8	Resultados para a tecnologia futura na AML	33
4.9	Parâmetros relevantes para o condutor <i>MED</i> na AMP	34
4.10	Parâmetros relevantes para o condutor <i>MED</i> na AML	34
4.11	Distribuição dos trajetos percorridos pelos condutores para a área metropolitana do Porto	35
4.12	Distribuição dos trajetos percorridos pelos condutores para a área metropolitana de Lisboa	35
4.13	Distância total semanal percorrida pelos condutores gerados para as áreas metropolitanas de Porto e Lisboa	36
4.14	Distância total anual percorrida pelos condutores gerados para as áreas metropolitanas de Porto e Lisboa	36
4.15	Resultados relevantes para a tecnologia atual na AMP	36
4.16	Resultados relevantes para a tecnologia futura na AMP	37
4.17	Resultados relevantes para a tecnologia atual na AML	37
4.18	Resultados relevantes para a tecnologia futura na AML	37
4.19	Parâmetros relevantes para o condutor <i>Álvaro</i> na AMP	37
4.20	Parâmetros relevantes para o condutor <i>Álvaro</i> na AML	38
4.21	Distribuição de estacionamentos/garagens pelo nº total de alojamentos em Portugal Continental em 2011	46
5.1	Distribuição do parque automóvel português em função da idade e tipo de energia para o ano de 2018.	48
5.2	Emissões de gases totais anuais, distância do Condutor I do Porto, veículo Diesel.	51
5.3	Emissões de gases totais anuais, distância do Condutor I de Lisboa, veículo Diesel.	51

5.4	Emissões de gases totais anuais, distância do Condutor I do Porto, veículo a Gasolina.	52
5.5	Emissões de gases totais anuais, distância do Condutor I de Lisboa, veículo a gasolina.	52
5.6	Parâmetros relevantes para determinação do custo de anual de energia dos diversos condutores.	55
5.7	Custo anual de energia de deslocação dos diversos perfis de condutores da AMP. .	56
5.8	Custo anual de energia de deslocação dos diversos perfis de condutores da AML.	56
5.9	Cálculo do retorno do investimento para o mesmo modelo de PHEV com e sem a opção de teto solar.	61
5.10	Cálculo do retorno do investimento para o mesmo modelo EV com e sem a opção solar.	62

Nomenclatura

Símbolos

A_p - área do painel [m^2]

CAE -cálculo Anual de Energia [€]

C -consumo [Wh/km]

$Dist_{cond.I}$ -distância estabelecida, percorrida pelo condutor I [km]

AF -distância diária percorrida no trajeto Acompanhar Familiares/Amigos [km]

AP -distância diária percorrida no trajeto Assuntos Pessoais [km]

C -distância diária percorrida no trajeto Compras [km]

E -distância diária percorrida no trajeto Estudo [km]

L -distância diária percorrida no trajeto Lazer [km]

O -distância diária percorrida no trajeto Outra Atividade [km]

R -distância diária percorrida no trajeto Regresso a Casa [km]

T -distância diária percorrida no trajeto Trabalho [km]

ϵ -eficiência fotovoltaica

$E_{miss.TotGEE}$ - emissão total de um determinado GEE [g]

E -energia [Wh]

Δt - intervalo de tempo [h]

GEE -limite de emissões de um dado gás de estufa para uma norma EURO X [g/km]

$Num_{cond.Euro}$ - número de condutores que se enquadram temporalmente com uma dada norma EURO

P -potência [W]

$\dot{I}_{Glob,H}$ -radiação solar global incidente numa sup. Horizontal [W/m^2]

T_{amb} -temperatura ambiente [C]

Abreviaturas

AM -Área Metropolitana

AML -Área Metropolitana de Lisboa

AMP -Área Metropolitana do Porto

CE^* -Carregamento externo

GEE -Gases de Efeito de Estufa

MS^* -Modo Solar

TB^* -Tarifa Bi-horária

TS^* -Tarifa Simples

ts^* -Teto solar

$V2B$ -Vehicle to Building

V2G-Vehicle to Grid

V2H-Vehicle to House

V2L-Vehicle to Load

VCI-Veículo de combustão interna

VE-Veículo elétrico não solar

VS-Veículo solar

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

Atualmente, temos assistido ao crescimento de problemas ambientais que comprometem a vida e biodiversidade existentes no planeta.(12) Assistimos a uma mudança de paradigmas em que cada vez mais são conhecidas as problemáticas associadas ao contínuo crescimento económico agregado ao consumo de recursos naturais.(6) A sustentabilidade, numa perspetiva global, foca-se nos problemas ambientais e procura a partilha de responsabilidades, enfatizando a importância da coordenação entre os vários agentes (12)(20), ou seja, é fundamental encontrar um equilíbrio entre as vertentes económica, ambiental, tecnológica e social.(13) A questão ambiental como elemento fulcral, integrador e articulador de um modelo de desenvolvimento parece ser incontornável, sendo que a energia solar ou eólica ocupa um espaço central nestas preocupações globais. Nos últimos anos têm sido desenvolvidas pesquisas cuja temática incide no carregamento de veículos eléctricos com recurso a energia solar ou eólica.

Com o adoção gradativa dos veículos eléctricos, a comunidade científica tem procurado alternativas para o carregamento dos mesmos, que normalmente é feito com recurso a rede eléctrica, proveniente de fontes convencionais, como o carvão ou petróleo. Como a tendência da procura energética é cada vez maior, isto pode traduzir-se em maior instabilidade e uma distribuição desbalanceada. Os efeitos podem minimizar-se com um controlo mais rigoroso, contudo a utilização de energia solar com um potencial de exploração quase ilimitado parece ser a melhor alternativa.(37) Assim, este estudo pretende, através de um conjunto de previsões, ajudar a determinar quanta energia seria possível transformar e guardar para futuro uso no veículo, considerando diversas condições climáticas que irão depender do tempo e do local em análise. Ainda de notar que, grande parte do tempo, o automóvel não se encontra no local onde a energia é captada. A instalação de baterias torna-se imprescindível até um momento de utilização propício.

Graças à abundante e gratuita irradiação solar que providencia mais energia na Terra do que a consumida, os processos de conversão fotovoltaica asseguram fiabilidade no acesso a energia eléctrica para o carregamento de veículos eléctricos, em qualquer parte do mundo de forma não poluente.

Com reduzida manutenção, é possível implementar técnicas de auto-carregamento através da conversão fotovoltaica. Desta forma, a energia solar provém de uma maneira única, simples e elegante, o método de transformação da energia do sol em energia elétrica para carros elétricos, colocando a humanidade mais próxima de um "futuro verde".

A evolução tecnológica recente tornou possível equacionar e desenvolver veículos com células fotovoltaicas integradas, capazes de produzir eletricidade suficiente para algumas dezenas de quilómetros por dia. Estes veículos possuem, para além de um valor simbólico, a possibilidade de aliviar a dependência da rede de carregamento, que é um dos principais obstáculos à adoção mais generalizada da mobilidade elétrica.

1.2 Objetivos

Prende-se neste trabalho efetuar uma análise do potencial de utilização dos veículos solares em Portugal, caracterizando o estado da arte tecnológico, o seu desempenho no contexto do clima Português, identificando os grupos de mobilidade que poderiam adotar este tipo de veículos, e analisando as suas implicações ambientais assim como a sua viabilidade económica.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos. O capítulo 2 contempla a parte teórica necessária ao trabalho. No capítulo 3 aborda-se a disponibilidade de radiação no território português, e procede-se à determinação da autonomia tendo por base algumas características da tecnologia automotiva abordada no capítulo anterior.

Relativamente ao capítulo 4, este incide no estudo da mobilidade em Portugal, onde após se estabelecer perfis de condutores que percorrem determinadas distâncias, confrontam-se esses valores com os valores de autonomia obtidos no capítulo anterior e retiram-se conclusões.

Dentro do capítulo 5, apresentam-se e analisam-se diversas vantagens de origem ambiental e económica, tendo por base valores tabelados relevantes.

Por fim, retiram-se conclusões, considerando todo o conteúdo desenvolvido até então e evidenciam-se sugestões para investigação futura e eventual complementação do tema em estudo.

Capítulo 2

Enquadramento Teórico

O setor dos transportes e da produção elétrica estão diretamente ligados aos maiores problemas em resolução neste século: a escassez dos combustíveis fósseis, as alterações climáticas e a utilização sustentável de energia. A geração de eletricidade e a transportação representam cerca de 60% da energia primária, sendo a maioria proveniente do carvão, e petróleo para o setor dos transportes. Tecnologias alternativas, como é o caso dos veículos solares, veículos elétricos com transformação de energia própria, têm vindo a ser desenvolvidos para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e atenuar as emissões de GEE. Paralelamente, as fontes de energia renovável estão a ser desenvolvidas e implementadas para substituir os métodos convencionais de geração de eletricidade, havendo, novamente, redução de emissão de poluentes.

Existe uma série de limitações na integração de larga escala de energias renováveis em sistemas elétricos. Energias renováveis, como solar ou eólica, tendem a apresentar grande variabilidade no seu fornecimento, sem correlação com as alterações da procura. Já nas fontes de transformação energética convencionais é possível ajustá-las consoante as necessidades de consumo. Para colmatar estas limitações têm sido adotadas várias estratégias como, o armazenamento, distribuição do consumo num horário de baixa procura energética, capacidade de geração de eletricidade em horários propícios.⁽³⁷⁾ Os veículos elétricos com ligação à rede conseguem cumprir todas estas metodologias. Assim sendo, uma adoção massiva poderá ser extremamente importante para o processo de integração das energias renováveis nos sistemas elétricos existentes.

Naturalmente, os veículos solares poderão constituir uma solução interessante para colmatar estes problemas, quer sejam os da rede elétrica, os de emissão de poluentes ou até por questões económicas. Como estamos perante veículos elétricos com captação própria de energia, estes aliviam diretamente a rede por não haver tanta necessidade de carregamento, podendo até fornecer energia à mesma, tal como já foi mencionado.

Para que se possa avaliar o impacto da tecnologia automotiva em questão no território português, é necessário apresentar os conceitos teóricos que viabilizam a existência de um veículo elétrico, com capacidade integrada de transformação energética de origem solar.

2.1 Radiação Solar

A radiação solar pode ser definida como a energia emitida pelo Sol, na forma de ondas eletromagnéticas.

A radiação solar fornece anualmente para a atmosfera terrestre $1.5 \cdot 10^{18} kWh$ de energia, sendo o recurso vital para a existência de vida no planeta, e tendo um potencial energético de exploração evidente para a sociedade. Parte significativa da radiação solar atravessa a atmosfera e chega até a superfície terrestre, aquecendo-a. Uma boa percentagem da radiação recebida é absorvida. Outra fração é refletida e não chega à superfície da Terra.(22)(37)

Assim sendo, a mesma pode ser dividida em 3 componentes ao nível do solo:

1. **Radiação Direta**- radiação solar que atinge a superfície terrestre sem sofrer nenhum desvio.
2. **Radiação Difusa**- atinge a superfície da Terra em diversas direções devido as modificações introduzidas pela atmosfera e a presença de nuvens.
3. **Radiação Refletida**-radiação refletida pelo ambiente circundante.

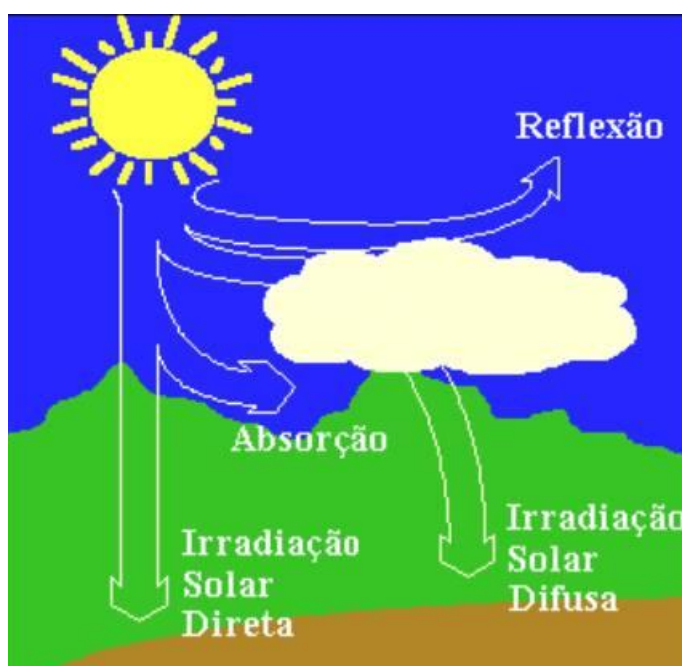


Figura 2.1: Diagrama da distribuição da radiação ao nível do solo(16)

Como a grande maioria dos raios incidentes estão a ser difundidos, difratados e refletidos até ser atingida a superfície terrestre, determinou-se que cerca de $1/3$ da energia potencialmente aproveitável é perdida. Assim sendo, a irradiação solar total é $1.06 \cdot 10^{18} kWh$ e, como tal, a energia solar disponível é duas vezes superior às restantes energias renováveis.(22)

A radiação direta e difusa são as componentes de radiação relevantes para determinar a radiação global potencialmente utilizável por um painel fotovoltaico no solo terrestre, estático ou

dinâmico. Evidentemente que outros parâmetros como o ângulo de incidência de radiação, a temperatura, irão influenciar o rendimento do processo de conversão energética. Importante mencionar que a radiação incidente não é constante, isto é, sofre variações temporais, como seria expectável.

2.2 Painéis Fotovoltaicos

Os painéis solares fotovoltaicos são dispositivos que permitem a conversão de radiação proveniente do sol em energia elétrica. Compostas por células solares (assim designadas uma vez que convertem "luz solar") podendo, alternativamente, ser denominadas de células fotovoltaicas, já que, criam uma diferença de potencial elétrica, fruto da exposição à radiação. As células solares contam com o efeito fotovoltaico para absorver a energia do sol gerando uma corrente elétrica que flui entre duas camadas com cargas opostas criando uma diferença de potencial (tensão elétrica).

Este é distinto do efeito fotoelétrico, que consiste na emissão de eletrões por um material, geralmente metálico, quando o mesmo fica exposto a uma radiação eletromagnética com frequência suficientemente alta, como por exemplo a radiação ultravioleta. No entanto, apesar de serem processos diferentes, complementam-se. (16)

Os painéis fotovoltaicos, quanto à sua composição, dividem-se em, à base de silício, ou sem a presença dele, havendo novos materiais orgânicos em uso, fruto da boa eficiência a reduzido custo. Dentro dos painéis de silício, temos os cristalinos e os amorfos, sendo que os cristalinos ainda se podem dividir em mono e policristalinos. (30)

As células solares são acopladas em séries de uma ou mais linhas, e esta disposição juntamente com material envolvente irá originar os módulos. O processo ocorre ao colocar o material da célula num substrato de vidro, poliamido, ou aço inoxidável sendo feita a ligação entre os materiais com recurso a laser. As células ficam encapsuladas entre uma cobertura transparente e um substrato impermeável. Para que possam ser protegidas das condições externas adversas, as células são protegidas por uma cobertura de vidro temperado de reduzida espessura, podendo alternativamente utilizar-se outro material mais tenaz e moldável.

Tal como acontece na maioria das tecnologias, os painéis fotovoltaicos sofreram um processo evolutivo, quer seja ao nível das células que o constituem, sistemas eficientes de refrigeração, algoritmos de controlo especializados etc.

Fruto da enorme diversidade existente, a tecnologia atual permite a existência de painéis integrados que podem substituir determinados componentes com a vantagem inerente de poderem transformar energia, e mantendo a função do original. Materiais convencionais de edifícios, como telhados, fachadas ou até janelas, podem ser substituídos por materiais fotovoltaicos. (30)

O mesmo princípio pode ser aplicável na indústria automóvel, o tejadilho convencional pode ser substituído por um tejadilho solar transformador de energia. No entanto, esta não é a única forma de integrar um painel na carroçaria de um automóvel. A secção seguinte detalha o processo de evolução da implementação desta tecnologia na indústria automotiva.

2.3 Evolução na tecnologia automotiva

Nos anos 80, aquando das primeiras conscientizações ambientais surgiu a oportunidade de implementação de painéis solares acoplados no tejadilho de automóveis. No entanto, os custos associados aos mesmos rondavam valores 100 vezes maiores que os atuais, e assim sendo a penetração no mercado era reduzida ou até nula, com a exceção de alguns protótipos.

Em 2009, a diretiva do setor de energias declarou as energias renováveis como a ferramenta de exploração mais importante para limitar o impacto do setor dos transportes nas alterações climáticas. Dez anos mais tarde, este mesmo setor foi o único que contrariou as tendências ao apresentar um aumento de emissões, reforçando a necessidade de tomar providências para contornar a situação. Desta forma, o parlamento europeu propôs uma redução média das emissões de CO_2 em cerca de 40%, isto para automóveis. O objetivo imposto para a redução em carrinhas/furgões seria de 31%. Adicionalmente, a diretiva presenteou os produtores automóveis que atingiram as cotas propostas, e penalizou aqueles que tinham emissões superior. No início de 2020, foi proposto um limite de emissões médio de CO_2 de 95 g/km, isto para automóveis.(25) Esta implementação, apesar de ambiciosa é, necessária para acelerar o processo de decarbonização do setor automóvel. Desta forma, é possível verificar uma mudança de tendência na comercialização de automóveis. Para cumprir os objetivos impostos pela UE, os fabricantes são forçados a investir intensamente, em tecnologias de mobilidade sustentável, como veículos elétricos(EV), veículos híbridos(HEV), veículos híbridos *plug-in*(PHEV) entre outros.

Com a crescente preocupação com as emissões de gases poluentes, o interesse em explorar tecnologias alternativas e viabilizar alguns estudos prévios aumentou proporcionalmente. O desenvolvimento de veículos com painéis fotovoltaicos integrados mostrou-se promissor, devido aos benefícios económicos bem como ambientais inerentes, isto porque poderia permitir um arrefecimento da cabine durante o estacionamento, redução do tempo de carregamento da bateria auxiliar de 12V entre outros. Apesar das motivações válidas, estas tornavam-se irrelevantes quando comparadas com os custos de produção de um tejadilho solar.

Em última instância, a análise dos benefícios da inserção de um painel fotovoltaico, num veículo a combustão, prende-se com a redução substancial das emissões carbónicas. A maioria dos governos mundiais, privilegia e incentiva as marcas para que produzam modelos amigos do ambiente, sendo cada vez mais rigorosos na política de emissões de gases poluentes. Existem mesmo alguns governos, como é caso do americano que bonificam as marcas que incluam componentes benéficos para o ambiente, mesmo que não tenham um impacto oficializado na eficiência de combustível, porém aumentam a autonomia ou reduzem a emissão de gases de estufa.

Seguidamente, irá analisar-se o processo evolutivo dos automóveis com a tecnologia vigente em estudo, detalhando-se as principais características dos mesmos.

2.3.1 Fisker Karma

Em 2011 este paradigma de custo-benefício mudou substancialmente com a introdução no mercado do Fisker Karma, um automóvel híbrido com um painel fotovoltaico de 120W acoplado,

capaz de gerar $0.5kWh$ por dia. O intuito da inserção deste elemento seria autonomizar o sistema de climatização do veículo em causa, e até acrescer a autonomia do mesmo em até $8km$. Contudo, na forma como foram arquitetados apenas forneciam energia à bateria auxiliar $12V$ não contribuindo diretamente para este acréscimo. Trata-se de um híbrido em série com um motor de combustão interna de 4 cilindros alimentado a gasolina, com uma potência de $260cv$, conjuntamente com 2 motores elétricos cuja potência combinada é de $322cv$. Esta conjugação, assim como a possibilidade de carregamento da unidade de baterias diretamente da rede, deveriam ser fortes argumentos para a mediatização do híbrido plug-in. Com um peso bruto de $2400kg$ e um módulo de baterias de lítio com uma capacidade energética de $20.1kWh$ capaz de assegurar uma autonomia de aproximadamente $80km$, no modo totalmente elétrico.(5)

Apresenta um modesto coeficiente de arrasto de 0.31, com um design apelativo e linhas tipicamente desportivas. Estas características, deveriam tornar o familiar de 4 portas uma máquina veloz, contudo pelo elevado peso do mesmo, isto não se verificou na prática.

Porém, depois de uma série de infortúnios, desde defeitos de fabrico por parte do fornecedor de baterias, incidentes que levaram a perda total de alguns veículos que se incendiaram, assim como um processo judicial por parte da Tesla onde os mesmos alegaram que Henry Fisker se teria apropriado da tecnologia da marca fizeram com que este modelo fosse um autêntico fracasso. Quer seja pela própria dimensão da empresa, que impossibilitou uma testagem contínua de todos os elementos envolvidos, quer seja pelo próprio conceito ainda precisar de aprimoramentos para se tornar competitivo no mercado o que é facto, é que este modelo é desconhecido para a maioria das pessoas.



Figura 2.2: Automóvel Fisker Karma(35)



Figura 2.3: Painel fotovoltaico integrado no Fisker Karma(35)

2.3.2 Toyota Prius 2010

Excetuando o *Toyota Prius*, foram precisos vários anos para que outra marca optasse por incluir painéis fotovoltaicos nos seus modelos. Em 2010, a marca de referência no que toca à exploração/inclusão de veículos elétricos e híbridos quis enveredar neste mercado, e incluiu, em regime opcional, a inserção de um painel fotovoltaico, porém, a sua implementação acabou por ser dececionante.

A justificação, deve-se ao facto do painel acoplado no tejadilho, servir exclusivamente para climatizar o veículo, alimentando uma ventoinha, aquando do estacionamento do mesmo numa zona ensolarada, evitando o aquecimento excessivo.(27) Inicialmente, a *Toyota* pretendia que o painel fosse capaz de alimentar o sistema de baterias, contudo esta configuração tornou-se problemática por induzir uma interferência eletromagnética que comprometia o funcionamento do rádio do automóvel. Desta forma, o equipamento em causa apresentava apenas uma potência máxima de 50W, o suficiente para garantir o desempenho da sua função.

Contudo, isto não comprometeu o sucesso do modelo, uma vez que apresenta característica muito apelativas, nomeadamente um baixo coeficiente de arrasto, concretamente de 0,25, e onde um motor de 1800 cm^3 com uma potência 98 cv, aliado a um motor elétrico de 20 kW com uma pequena bateria de 1,3 kWh, asseguram uma potência total de 134 cv, e totalizam um peso bruto de 1379 kg. Isto permite consumos de combustível muito apelativos, especificamente um consumo combinado de 3,90 L/100km (dados do departamento de transportes do Reino Unido).(36) A emissão de CO_2 fixa-se em 89 g/km emitindo menos que os automóveis compactos contemporâneos, como o Skoda Fabia, e o Volkswagen Polo, perdendo apenas para o Smart Fortwo, que apresenta uma emissão de 86 g/km. Importante realçar, que algumas das limitações encontradas aquando da implementação na 3ª geração do Prius foram colmatadas ao longo dos anos, sendo o cenário atual da Toyota bem distinto, conforme será abordado subsequentemente.



Figura 2.4: Toyota Prius com imagem do interior e do painel fotovoltaico integrado.

Recentemente, houve um ressurgimento desta implementação tecnológica, devendo-se principalmente a três fatores predominantes. Primeiramente, o potencial de exploração energético melhorou consideravelmente, tendo em conta a constante evolução tecnológica das células solares

e módulos, culminando num aumento de eficiência. Segundamente, a massificação da produção teve como resultante um decréscimo no valor das células fotovoltaicas nos últimos 10 anos, e naturalmente, no preço dos painéis €/kWp. Ulteriormente, tanto o mercado de elétricos como o de híbridos procuraram inserir painéis para melhorar a autonomia dos seus veículos, e a Agência Internacional de Energias (IEA) prevê que em 2030, já haja 44 milhões de veículos elétricos a circular mundialmente.(23)

Tendo em consideração uma área média potencial para colocação de painéis de 2 m^2 e uma potência por módulo de 200 W/m^2 , poderemos estar perante um potencial mercado de exploração de 18 GW/ano em termos globais, se todos os novos veículos elétricos acoplaram um painel fotovoltaico. Comparado com um mercado atual de exploração solar, com uma potência atual de 131 GW , trata-se de um acréscimo significativo, havendo a possibilidade de aplicação de módulos solares de alta eficiência para que as marcas automotivas possam otimizar o processo de conversão energético.(23)

2.3.3 Toyota Prius 2019

A versão Plug-in Hybrid Vehicle (PHV) oferece aos clientes dois automóveis num só; uma sofisticada motorização híbrida com emissões muito baixas de apenas 29 g/km de CO_2 (ciclo WLTP), oferecendo ao mesmo tempo uma experiência de condução 100% elétrica (EV) com um alcance de até 45 km em condução real (ciclo WLTP) e uma velocidade máxima EV de 135 km/h . Em circuito citadino, a autonomia pode ser otimizada até 59 km . O consumo é reduzido, apresentando um valor de 3.3 l/100km .(36)

O *Prius Plug-in* na versão *Power Sky*, apresenta um painel solar de grandes dimensões, que gera eletricidade para carregar a bateria do sistema híbrido, um equipamento que se estreou na primeira geração e que permanece nesta segunda geração como algo único no segmento. Inicialmente, a *Toyota* iria utilizar as células desenvolvidas conjuntamente com a *Panasonic* capazes de uma potência de até 180 W , utilizadas no modelo anterior (2012) porém decidiram optar por uma parceria mais promissora.(2)

As células solares fabricadas pela empresa *Sharp*, têm apenas $0,03\text{ mm}$ de espessura, mas podem apresentar uma potência de até 860 Wp , efetuando o carregamento do veículo mesmo em andamento. O fator diferenciador no acoplamento destes painéis foi o facto de se tratarem de equipamentos com grande eficiência, quando comparados com os modelos convencionais, e segundo testagens são capazes de transformar até 5 vezes mais energia em comparação com o modelo anterior da marca, o que significa um acréscimo 7 vezes superior no que diz respeito à autonomia. Dependendo das condições meteorológicas, de acordo com os testes realizados pela marca a adição deste equipamento poderá acrescentar cerca de 45 km de autonomia num só dia. Traduzindo isto numa eficiência percentual, as células desenvolvidas pela *Sharp* atingem uns inéditos 34%, muito superior a qualquer outra tecnologia atualmente existente no mercado, tal como será possível comprovar na análise posterior de outros veículos solares.(29)



Figura 2.5: Toyota Prius desenvolvido em parceria com a Sharp

2.3.4 Hyundai Sonata

Mais recentemente, a Hyundai oferece uma proposta similar no seu modelo híbrido Sonata, onde graças à evolução tecnológica dos últimos anos é facilmente perceptível a crescente contribuição na adição de um painel fotovoltaico no veículo. Após a conversão da energia solar em energia elétrica, e do processamento da mesma por diversos mecanismos de controlo visando a maximização da eficiência do processo, a mesma será armazenada no módulo de baterias que alimentam o motor elétrico e da bateria auxiliar. Esta dinâmica permite um aumento de autonomia, e uma redução do tempo de carregamento, resultando numa economia de combustível.

Tendo em conta que a eficiência do painel fotovoltaico será fortemente influenciada pelo ângulo de incidência do mesmo, o ideal seria que o mesmo estivesse com uma inclinação de 30 graus. Porém por estarmos limitados estruturalmente no tejadilho do veículo a uma disposição paralela entre o painel e o mesmo, isso irá afetar grandemente a eficiência de conversão energética. Para efeitos de compensação desta limitação, a Hyundai optou por utilizar células fotovoltaicas de alto desempenho, com uma eficiência de 22,8%, sendo em média entre 30 e 50% mais rentáveis que as células convencionais usadas nos painéis acoplados nos telhados. Outro fator a ter em consideração são as condições externas. Exemplificando, partículas de poeira ou até folhas poderão comprometer a eficiência de transformação elétrica. Porém, os especialistas da Hyundai constataram que haveria perdas reduzidas na ordem dos 3 a 10%. Contando que a zona do tejadilho não esteja completamente coberta ou com elevada sujidade a conversão energética permanece praticamente inalterada.(32)

O painel solar acoplado no Sonata, tem uma potência aproximada de 200W, isto é, estando em condições otimizadas de exposição solar irá produzir 200Wh de eletricidade ao fim de 1 hora. Assumindo uma média de carregamento de 5,8 horas por dia, tal irá acrescer em 1300 km por ano na autonomia do veículo. Os cálculos efetuados usaram a média das horas de exposição solar segundo o centro de estatístico sul-coreano, havendo naturalmente variações a serem consideradas ao longo do ano. De acordo com as medições efetuadas, o número de horas de sol aumentou de 5,5 horas em 2010 para 6,9 horas em 2018, contudo os cálculos efetuados têm uma perspetiva mais conservadora, para um valor médio ao longo de 10 anos. (32)

Outra vantagem iminente com a inclusão do painel, é a redução de incidentes relacionados com o descarregamento de baterias. Com o acréscimo de equipamentos eletrónicos nos automóveis

modernos, como a inserção de câmeras de tablier, houve um aumento do consumo de energia, assim como o número de incidentes relacionados. De acordo com o Instituto de Desenvolvimento de Seguradoras coreano, 4 em cada 10 serviços de assistência prestados (num total de 6150000 ocorrências dados 2015) estão ligados a descarga de bateria(s). A corrente elétrica armazenada pelo painel acoplado ao tejadilho no Sonata, ronda aproximadamente, os 81000 *mAh*, que excede grandemente os 720 *mAh* necessários para o funcionamento dos componentes eletrônicos comuns de um carro. Para além disso, seria necessário apenas uma hora de carregamento do painel, para dar respostas às necessidades de intensidade de corrente de uma câmera on-board (12000*mAh*). (32)



Figura 2.6: Painel do Hyundai Sonata coberto com folhas. (32)



Figura 2.7: Vista de cima do Hyundai Sonata.

2.3.5 Hyundai Ioniq 5

Uma vez mais a *Hyundai* procura rivalizar o mercado de elétricos com a introdução de um SUV elétrico que começou a ser comercializado no início do ano. Com um *design* irreverente e apelativo idêntico ao protótipo apresentado em *Frankfurt* em 2019, o mesmo surgiu inspirado no primeiro modelo da marca, o *Pony*, onde a partir de uma modernização de "linhas" a marca pretende introduzir-se no mundo dos *SUVs* elétricos. Como primeiro modelo da IONIQ, a sub-marca da *Hyundai* dedicada à produção de veículos elétricos a bateria, introduz-se no mercado para redefinir a mobilidade elétrica, com características sustentáveis e inovadoras.

Este modelo está disponível com diversas configurações, consoantes as necessidades do cliente. Existe a possibilidade de seleccionar dois *packs* de baterias, 58 kWh ou 72.6 kWh, e motor traseiro, ou dois motores, traseiro e frontal. A velocidade máxima ronda os 190 km/h, tendo em vista a maximização da autonomia. Com 2 motores eléctricos e uma tração integral (AWD-*All-Wheel Drive*), esta disposição é capaz de atingir os 100 quilómetros horários em cerca de 5 segundos. Quando equipado com 2 rodas motrizes, e consequentemente um motor eléctrico, bem como o *pack* de baterias de maior capacidade (72.6 Kwh), a autonomia do modelo da marca sul-coreana ronda os 480 km, de acordo com o procedimento WLTP.

Com uma potência de alimentação de 350 kW, o carregamento pode ir 10 a 80 % em apenas 18 minutos. Os utilizadores deste veículo podem ter 100 km de autonomia em apenas 5 minutos, de acordo com o procedimento de teste mencionado anteriormente.

A funcionalidade opcional V2L pode fornecer até 3.6 kW de potência. A tomada de carregamento encontra-se nos bancos traseiro, e pode ser atividade quando o veículo encontra-se ligado. Existe uma segunda tomada na zona de carregamento no exterior do automóvel. A tomada exterior fornece energia mesmo com o veículo desligado.

Relativamente ao acoplamento de painéis solares, este é opcional e é colocado no tejadilho, no topo da carroçaria. Em condições particularmente ensolaradas como no sul de Espanha ou França, a autonomia pode acrescer cerca de 2000 quilómetros anuais. Segundo informações oficiais disponibilizadas pela marca, a tecnologia implementada é similar à utilizada no modelo *Sonata* analisado anteriormente.



Figura 2.8: **Hyundai Ioniq 5**(31)

2.3.6 Sono Motors Sion

O modelo *Sion* foi desenvolvido pela marca germânica *Sono Motors*, tratando-se de um modelo totalmente eléctrico alimentado por via solar recorrendo a uma série de módulos de conversão, com possibilidade de carregamento externo.

A inovação adicional foi a inserção de uma área de painéis ao longo de toda a estrutura do veículo, fruto das 248 células fotovoltaicas perfeitamente integradas na carroçaria do mesmo, conseguindo adicionar até 245 quilómetros semanais de autonomia (com um valor médio de

112km/semana) para um clima de referência germânico. Assim sendo, é possível atingir uma auto-suficiência total para viagens de curta distância. A autonomia total ronda os 250 km para um sistema de baterias com uma capacidade energética total de 35 kWh. Trata-se de um automóvel familiar com a capacidade de transportar 5 pessoas, com um peso bruto de 1500kg.(24) A título de curiosidade, este automóvel possui um sistema de filtração de ar totalmente natural recorrendo para isso a um planta líquen, *Iceland Moss* capaz de filtrar as partículas de poeira do exterior, regulando também a humidade relativa do ar de forma totalmente natural, e como tal, sem dispêndio energético.

Tal como já foi referenciado, o processo de acoplamento dos painéis fotovoltaicos na estrutura do veículo, é executado subtilmente, não comprometendo o aspecto estético tão importante. Ao contrário da maioria dos módulos solares, as células utilizadas na concepção deste veículo têm um revestimento polimérico ao invés do tradicional vidro. Esta implementação permite uma diminuição de até 50% peso quando comparada com os módulos solares revestidos com vidro, para além da elevada resistência. A manutenção de todas as características do equipamento é assegurada por esta camada de material compósito, independentemente das condições externas.

Os painéis solares da carroçaria do *Sion* não são únicos apenas pelo seu baixo peso, mas também pela tecnologia inovadora utilizada para a fabricação das células que as torna altamente eficientes, sendo possível atingir uma potência de até 220 W/m^2 , dependendo da radiação incidente em causa.

Outra característica de elevada relevância é a capacidade de fornecimento de energia à rede (V2G), bem como o fornecimento de energia a uma habitação(V2H), onde o veículo poderá funcionar como um sistema de armazenamento de energia, sendo essa uma preocupação crescente visto que a procura energética mundial é cada vez maior, tal como já foi referido.



Figura 2.9: Sono Sion-vista lateral.(24)

2.3.7 Aptera 3

Uma década é uma quantidade de tempo bastante extensa, principalmente quando estamos perante inventos tecnológicos que evoluem a uma velocidade vertiginosa, desta forma o nome *Aptera* pode ser desconhecido para muitos. Contudo, aqueles que testemunharam o surgimento do protótipo mais eficiente energeticamente da altura, ainda terão este nome presente.

O Aptera EV, é um veículo elétrico solar e a terceira versão do modelo base da *start-up* americana. Isto porque a empresa original abriu insolvência em 2011, e ressurgiram, novamente, com

um conceito similar ao apresentado anteriormente, pelo menos no que diz respeito ao *design* do modelo, tratando-se de um carro com lotação para 2 pessoas, com 3 rodas, e uma aerodinâmica sensacional, com a inserção de uma locomoção elétrica e alimentação com recurso a painéis fotovoltaicos. Poderá ser traccionado por duas rodas motoras, ou pelas 3, dependendo da versão em causa, tendo uma Autonomia total que pode ir até 1600 *km* na versão equipada com uma *pack* de baterias de 100*kWh*, existindo uma versão com 60 e outra com 40 *kWh*.

O dispêndio energético do veículo em causa ronda os 63 *Wh/km*, um valor muito baixo, tendo em conta que o *Tesla Model 3*, segundo a *EPA*, a agência americana de proteção ambiental, consome mais do dobro com um valor de 156 *Wh/km*. Este valor é atingível, graças ao conceito englobado na concepção do modelo, ou seja, tornar o mais aerodinâmico possível, bem como reduzir o peso na mesma proporção. A versão de 60*kWh* do modelo 3 da Aptera pesa apenas cerca de 800*kg*.

A redução de peso foi conseguida por uma recriação da parte estrutural do veículo, através de uma infusão de compósitos resinados, em estilo *sandwich*. Isto evita o peso da utilização de ligas em aço ou alumínio, bem como o custo da sua fabricação.

Relativamente a questões de segurança estrutural, a Aptera garante que os materiais usados na concepção da carroçaria são mais resistentes que os fabricados até hoje. Sendo assim, disponibilizarão protótipos para a realização dos testes de colisão, cumprido as normas impostas pelos órgãos responsáveis.

As baterias ficam posicionadas no chão da cabine, sendo algo comum nos veículos elétricos baixando o centro de gravidade do mesmo para assegurar uma maior estabilidade. O *pack* seria refrigerado por meio líquido, mas não da forma convencional com radiadores e bombas como acontece na maioria dos casos. Ao invés disso existem micro-canais em toda a área superficial do material compósito, podendo este atuar como um radiador evitando a necessidade de sistemas de refrigeração adicionais que aumentariam o peso e o arrasto do automóvel. Ainda não se sabe de que forma é que a marca conseguirá efectivar esta tecnologia, e também não há muita informação disponível visto que a Aptera pretende patentear-la.

No que diz respeito à inserção de painéis fotovoltaicos, cobrindo toda a face superior da carroçaria, os mesmo seriam capazes de atingir um pico de 700 *W* de potência, mas não será algo comum. A empresa fez os teste em San Diego, e mediu valores num protótipo durante 1 ano afirmando que a autonomia diária podia acrescer até 65 *km* nas condições climáticas ideais.

Tendo em conta que a maioria dos condutores faz em média menos de 50 *km* por dia(8), a adição das células fotovoltaicas, implica que, na maior parte dos dias, não haja necessidade de carregamento externo das baterias. Assim sendo, o Aptera poderá tornar-se no primeiro veículo do mundo *Never Charge* apesar de ser possível carregá-lo a partir da rede. Entende-se *Never Charge* como a capacidade de deslocação autónoma, isto é, sem a necessidade de carregamento externo. No site oficial da Aptera é possível fazer uma estimativa do número de vezes que seria necessário carregar o veículo, tendo em conta a região do mundo onde nos encontramos, e a média de quilómetros diários. Para um utilizador que faça uma média de 40 *km* diariamente em Portugal,

a condução será auto-suficiente, não havendo necessidade de carregamento. Porém, para uma média de 50 km, o automóvel necessitará de ser carregado cerca de duas vezes por ano.(3)

Um aspeto que convém realçar é o facto de o *Aptera* ser considerado um triciclo, isto é um motociclo com 3 rodas.

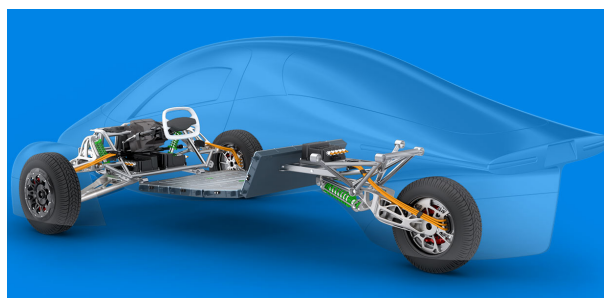


Figura 2.10: **Aptera 3-parte estrutural e demais componentes.**(34)

2.3.8 Lightyear One

A *start-up* holandesa criou um automóvel familiar elétrico, onde o principal objetivo foi maximizar a eficiência. O *Lightyear One* foi desenhado de raiz com tecnologia de ponta para que possa ser o mais autónomo possível, consumindo apenas 83 Wh/km - 2 a 3 vezes menos que a maioria dos veículos elétricos (o veículo anterior é a exceção) disponíveis no mercado. Como resultante, segundo o procedimento WLTP tem uma autonomia considerável de 725 km.(26)

Graças ao *design* meticulosamente definido o automóvel em causa, apresenta um coeficiente de arrasto inferior a 0,20. Alegadamente, isto faz com que seja o veículo familiar mais aerodinâmico até à data.

Apresenta um peso de 1300 kg, após um balanceamento ponderado de materiais leves e resistentes como alumínio e fibra de carbono não havendo comprometimento das normas de segurança.

O processo de integração de painéis no veículo reduz grandemente a necessidade de carregamento externo. As extensões patenteadas de curvatura dupla das células fotovoltaicas atingem uma potência máxima de 215 Wp/m², para uma área de 5 m² perfazendo um total de 1075 Wp. Com isto, são capazes de gerar até 33 km de autonomia diários, e uma média de 7 km no inverno para um clima de referência dos Países Baixos. Já para climas mais Sol, como a Austrália, a autonomia diária pode chegar aos 70 km. As baterias utilizadas tem uma capacidade de 60 kWh.



Figura 2.11: **Lightyear One**

2.3.9 Tesla

Em 2017, *Elon Musk*, CEO da *Tesla*, anunciou que o *Model 3* da marca americana, teria como elemento opcional, a inserção de um painel fotovoltaico no veículo. Contudo, retraiu as suas declarações anterior e justificou-se dizendo que a implementação desta tecnologia não seria tão benéfica, isto porque a área de um automóvel é bastante limitada, e os mesmo passam grande parte do tempo em zonas resguardadas. Conclui, dizendo que o local menos eficiente para se colocar um painel fotovoltaico seria num automóvel.

Pouco tempo depois, o empresário americano divulgou as novas telhas solares da marca, que deveriam ser o foco para garantir a sustentabilidade, quer da habitação, quer do veículo elétrico.

Contudo, mais recentemente, com o lançamento do *Cybertruck*, *Elon* repensou as suas declarações, confirmando que este modelo iria incluir a opção de acoplar painéis. Através da plataforma do *Twitter*, o mesmo referiu: "Haverá uma opção para integrar um painel solar que irá gerar 15 milhas por dia, ou até mais. Adoraria que isto fosse auto-sustentável. Adicionando uma versão desdobrável, com o aumento de área seria possível atingir entre 30 a 40 milhas por dia. A distância média percorrido nos EUA é de 30 milhas."[\(21\)](#)

Assim sendo, é possível concluir que esta mudança de pensamento possa ser justificada pela grande área disponível pelo modelo, viabilizando economicamente esta opção, ou ainda, pela constante evolução da tecnologia fotovoltaica envolvida.

A tabela subsequente reúne as principais características dos automóveis em estudo, sendo possível fazer um comparativo entre os mesmos, segundo os parâmetros considerados relevantes.

Tabela 2.1: Caracterização dos parâmetros essenciais de cada veículo solar estudado.

veículo	Peso[kg]	C_d	Capacidade da bateria[kWh]	Potência dos painéis [Wp]	Autonomia solar diária [Km]	V2X
Fisker Karma	2400	0,31	20,1	120	6,4-8	-
Toyota Prius 2010	1380	0,25	4,4	50	2,9	-
Toyota Prius 2019	1380	0,24	8,8	860	45	-
Hyundai Sonata	1700	0,24	10	205	3,6-5,5	-
Hyundai Ioniq 5	2100	-	72,6	205	3,6-5,5	V2L/V2H
Sono Motor Sion	1500	-	35	1200	16-35	V2G/V2H
Aptera 3	800	0,13	80	700	40-65	-
Lightyear One	1300	0,20	60	1075	35-70	-

2.3.10 Vantagens e Desvantagens desta tecnologia automotiva

O sucesso dos veículos solares surgirá com a valorização da integração de painéis fotovoltaicos em casos específicos. Exemplificando, com o aumento do consumo próprio de energia transformada pelos painéis, ocorrerá um alívio de carga da rede elétrica, que por sua vez se traduzirá numa redução de custos, sendo também uma influência positiva para a descarbonização do setor dos transportes. Podemos subdividir as principais vantagens desta tecnologia da seguinte forma(25):

1. **Aumento de autonomia e tempo de vida das baterias-** uma das grandes vantagens de ter um fornecimento de energia imediato é o aumento da autonomia dos veículos, sendo possível percorrer maiores distâncias. O tempo de vida das baterias poderá aumentar pela diminuição dos ciclos de carregamento das mesmas. Nas melhores condições climáticas, e em alguns padrões de utilização, os automóveis solares poderão passar o Verão sem serem carregados externamente.
2. **Alívio na rede elétrica-** Para estimar o impacto na rede da tecnologia em estudo, é importante mencionar o aumento da complexidade dos sistemas elétricos que os veículos solares poderão colmatar graças às suas características. O auto-consumo imediato evita os impactos negativos de instalações fotovoltaicas de grande escala, como o aumento súbito de voltagem e o sobrecarga de alguns componentes da rede elétrica.
3. **Redução dos custos de mobilidade-** Esta vantagem de cariz económico, depende de fatores como o preço da eletricidade ou dos painéis fotovoltaicos. Na generalidade, poderão ser evitados custos convencionais de transporte e conversão energética, como aconteceria se estivemos perante um veículo elétrico.

Ainda existem algumas dúvidas quanto à durabilidade dos painéis desta natureza, por se tratar de uma tecnologia relativamente recente. Porém, seguindo a tendência dos convencionais, apresentam elevada durabilidade e manutenção reduzida.

Relativamente às desvantagens da adoção de veículos solares, as mesmas poderão centrar-se na dificuldade da integração de painéis fotovoltaicos eficientes numa reduzida e complexa área. Assim sendo, os mesmos deverão cumprir uma série de requisitos antes de poderem ser acoplados num automóvel. Os pressupostos podem enumerar-se da seguinte forma(4):

1. **Baixo peso e elevada resistência mecânica-** Por ser uma implementação relativamente recente, ainda não existem procedimentos de teste protocolados para averiguar a qualidade dos painéis. No entanto, a maioria dos fabricantes automóveis tem como objetivo de menos de $10 \text{ kg/m}^2_{\text{painel}}$ em relação ao peso, podendo atingir-se valores que rondam os $4 \text{ kg/m}^2_{\text{painel}}$. É necessário estabelecer um compromisso otimizado na relação peso-resistência, sendo que, normalmente, um peso baixo implica uma resistência mais baixa, variando consoante os requisitos do fabricante. Tipicamente, a robustez do painel é medida pelo mesmo teste a que os vidros automóveis estão sujeitos (teste de queda de esfera de aço), havendo variações, dependendo dos fabricantes, nas variáveis iniciais como a altura de cada ou o peso da esfera. Desta forma, existe um espectro de possibilidades de painéis leves e de elevada resistência.
2. **Superfície curvada e complexa-** Uma vez que não estamos perante uma superfície plana, todo o processo de fabricação do painel não segue os modelos convencionais, desde a disposição das células constituintes dos módulos, até às camadas laminares que as sobrepõem. Assim sendo, existem algumas dificuldades tecnológicas no processo de modelação tridimensional. Como já foi referido a carroçaria automóvel apresenta uma dada curvatura. Desta forma, é necessário laminar as células altamente frágeis e acomodá-las aos materiais resinosos de cobertura, tomando a forma da própria carroçaria. Como tal, existirão diferenças na elasticidade em função dos diferentes materiais constituintes do painel, havendo diferenças de alongamento resultantes do processo de cobertura da superfície 3D, o que poderá resultar numa série de problemas. Portanto, estamos perante um processo rigoroso e metódico, limitado pela tecnologia atual, havendo progressos gradativos que vão tornando a implementação viável.
3. **Sombreamento parcial/dinâmico-** Os efeitos de sombreamento poderão comprometer grandemente o processo de transformação energética num veículo solar, principalmente quando o mesmo se encontra em movimento. Desta forma, torna-se imprescindível desenvolver mecanismos de tolerância a esta adversidade, por forma a minimizar as perdas.

Em concordância com o mencionado, surge outra desvantagem evidente. A incerteza na transformação de energia elétrica (função das condições climáticas do local e do tempo), é um problema transversal ao processo de transformação de painéis fotovoltaicos. Acoplados num automóvel, a instabilidade aumenta por não estarmos num regime estático, por haver uma limitação clara de área, e um ângulo de incidência incontroável para a receção da radiação solar.

Capítulo 3

Análise Simples da Autonomia Solar Potencial

A avaliação da radiação incidente em solo português é uma consideração essencial para determinar a viabilidade desta tecnologia no nosso país. Como tal, para se proceder à análise, subdividiu-se a tecnologia automotiva em dois cenários distintos, atual e futura.

Para a determinação da tecnologia atual foi tido em consideração um misto, das melhores características atuais dos automóveis disponíveis no mercado. Assim sendo, estimou-se um consumo médio de 83 Wh/km , e uma eficiência dos módulos fotovoltaicos, ε de 34 %, sendo estes os parâmetros mais relevantes para o procedimento de cálculo que será exposto subsequentemente.

No que diz respeito à tecnologia futura, estimou-se que um consumo de 70 Wh/km seria bastante razoável, bem como um valor de 45 % para a eficiência dos módulos dos painéis acoplados ao veículo futurista.

Em ambos dos casos estimou-se uma área de painéis, A_p , de 5 m^2 , que englobaria a área do tejadilho, capô, e a zona traseira, assumindo que o *design* seja permissivo para que tal aconteça.

A estimativa para a eficiência do módulo fotovoltaico, tem por base uma determinação em condições laboratoriais, isto é, STC(*Standard Testing Conditions*) que no caso dos padrões da indústria fotovoltaica assentam em 3 condições(33):

1. Temperatura da Célula(T_{cel}) = 25°C . A temperatura do painel deve encontrar-se uniformemente distribuída.
2. Irradiação solar = 1000 W/m^2 . Este número refere-se à quantidade de energia que incide sobre uma determinada área num dado intervalo de tempo. Essa quantidade de energia de 1000 W/m^2 é uma média da quantidade de radiação solar que incide na superfície terrestre
3. Coeficiente de massa de ar = 1.5. Este valor corresponde à irradiação e espectro da luz solar incidente num dia claro, para uma superfície num ângulo de 37° graus em relação ao plano horizontal, com um ângulo horário de $41,81^\circ$.

Naturalmente que as STC não são aplicáveis em contexto real. Desta forma, a eficiência de conversão energética será inferior à do módulos fotovoltaicos, quer pelo mencionado, quer por outros fatores abordados no procedimento subsequente.

3.1 Procedimento de cálculo

O procedimento de cálculo foi efetuado recorrendo às potencialidades do *Excel*. O processo iniciou-se com a recolha de informações relevantes como a radiação solar global horizontal, $\dot{I}_{Glob,H}$ e à temperatura ambiente, T_{amb} por intermédio da vasta e detalhada base de dados do *software* português *Solarterm5*. Os valores disponibilizados pelo mesmo, apresentam-se de forma horária até totalizarem um ano, isto é, o cálculo foi efetuado recorrendo a 8760 valores concordantes com o número de horas de um ano comum.

Para um melhor entendimento do comportamento, do possível ganho de autonomia, implementou-se graficamente os valores anuais da radiação solar global horizontal das duas cidades principais portuguesas.

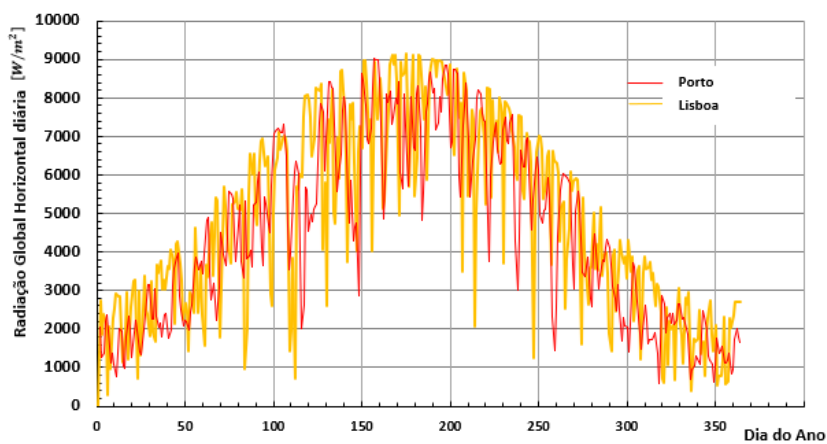


Figura 3.1: Radiação global horizontal diária para as duas cidades principais portuguesas.

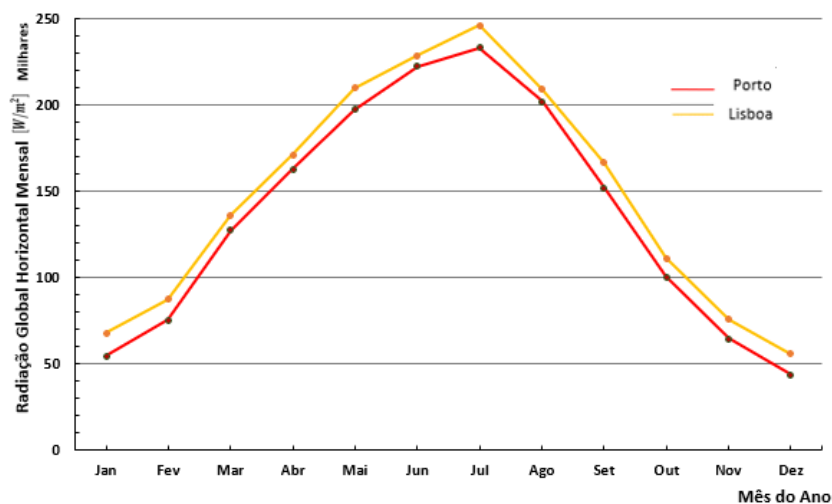


Figura 3.2: **Radiação global horizontal mensal para as duas cidades principais portuguesas.**

O gráfico da figura 3.2 demonstra a diferença entre radiações solares incidentes nas duas cidades de forma mais evidente que o gráfico com os valores diários anuais. Assim sendo, formula-se o pressuposto de que em Lisboa será convertida mais energia solar do que no Porto.

Adicionalmente, procedeu-se à confrontação dos diferentes valores de radiação solar incidente de 5 cidades portuguesas (Chaves, Porto, Coimbra, Lisboa e Faro), reforçando a influência da localização geográfica na mesma. Assume-se que, a radiação global horizontal mensal será maior em Faro, seguida de Lisboa, Coimbra, Porto e finalmente Chaves.

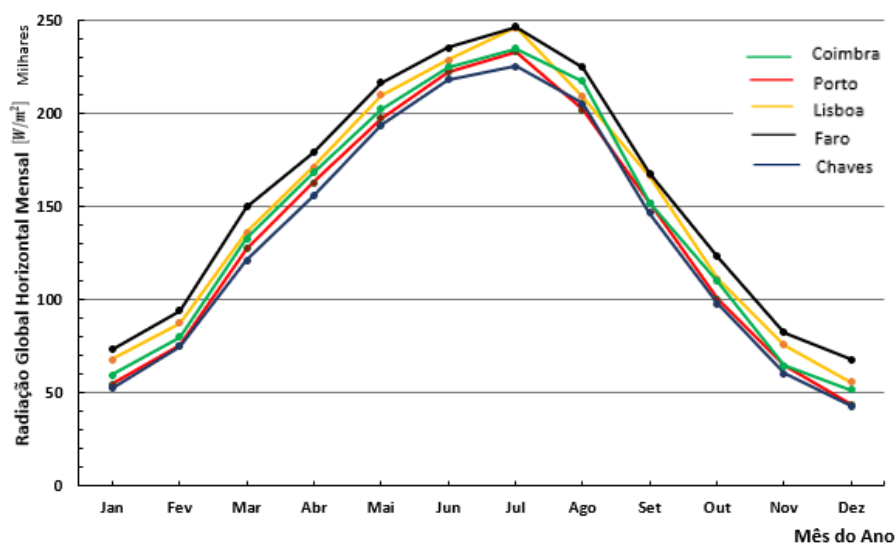


Figura 3.3: **Radiação Global Horizontal Mensal para as cidades portuguesas mencionadas.**

Com o valor da radiação global horizontal e da eficiência térmica dos módulos previamente estabelecida, é possível estimar razoavelmente a autonomia de cada uma das tecnologias anteriormente discriminadas.

Recorrendo à formula que define ε como o quociente entre a potência de entrada, P_{ent} , a radiação solar incidente $\dot{I}_{Glob,\beta}$, e a potência de saída, P_{sai} , resultante da multiplicação da tensão de saída pela intensidade da corrente:

$$\varepsilon = \frac{P_{sai}}{P_{ent}} = \frac{P_{sai}}{\dot{I}_{Glob,\beta}} \iff P_{sai} \approx \varepsilon \cdot \dot{I}_{Glob,H} \quad (3.1)$$

Os fatores de erro relevantes para o cálculo são a perda térmica (redução de eficiência fotovoltaica por conta do aumento de temperatura) bem como, os erros de aproximação, isto porque se utilizou a potência de entrada como sendo a irradiação solar incidente numa superfície horizontal e plana. O calculo de autonomia foi efetuado tendo em consideração uma exposição total à radiação em termos temporais. Teoricamente, esta maximização assume que o automóvel encontra-se constantemente a converter energia, desde que ela exista. Deve assim, acrescer o erro de aproximação. Existirão perdas por fabricação, causadas pelo processo de conceção dos módulos que nunca é exatamente igual, resultando em características elétricas diferentes. A degradação induzida pela luz é um fenómeno pouco conhecido. A mesma ocorre nos primeiros dias após a instalação das células fotovoltaicas, fruto da exposição à radiação. (15) Desta forma, os valor dos erros mencionados, encontram-se expressos na tabela seguinte.

Tabela 3.1: Estimativa dos fatores de erro afetantes da eficiência fotovoltaica em percentagem

Perdas de fabricação	5%
Perdas térmicas	1% / °C se $T_{amb} > 25C$
Erros de aproximação	15%

O valor final da eficiência fotovoltaica para um veículo-tipo com tecnologia atual será de $\varepsilon_{atual} = 0,14$, enquanto para a tecnologia futura $\varepsilon_{futura} = 0,25$, isto para um valor de temperatura ambiente menor ou igual a 25 °C. Assim sendo, um painel atual acoplado num veículo elétrico irá converter, em média, 14% da radiação solar incidente, enquanto um painel futurista converterá 25%.

Após a determinação de P_{sai} , a potência convertida por m^2 de painel depois de efetuadas as correções supramencionadas, É possível determinar a energia convertida, E_{sai} em Wh. Recorrendo à formula:

$$E_{sai} = P_{sai} \cdot \Delta t \cdot A_p \quad (3.2)$$

Como estamos perante valores constantes para o intervalo de tempo (pelas considerações já referidas), $\Delta t = 1h$, assim como para a área de painéis, $A_p = 5m^2$, a energia convertida será o quíntuplo da potência, isto para a unidade mencionada.

Finalmente, será possível obter a autonomia horária, simplesmente dividindo a energia convertida, pelo consumo C , expresso na fórmula:

$$Autonomia = \frac{E_{sai}}{C} \quad (3.3)$$

A tabela 3.2 contém a informação relevante para realizar o procedimento de cálculo em causa.

Tabela 3.2: Resumo das características automotivas essenciais para a tecnologia atual e futura.

	Tecnologia atual	Tecnologia Futura
Consumo [Wh/km]	83	70
Eficiência inicial dos módulos [%]	34	45
Eficiência final após correções [%]	14	25

Posteriormente, e recorrendo às potencialidades do *Excel VBA*, procedeu-se ao tratamento de dados, efetuando-se somas diárias e mensais. A secção seguinte ilustra e detalha os resultados obtidos, tendo em consideração tudo o que já foi mencionado, bem como as implicações da variabilidade do local analisado, e consequentemente a radiação incidente, e a sua influência nos valores de autonomia calculados.

3.2 Análise e discussão de resultados

Por forma a garantir uma ilustração mais evidente dos efeitos que a análise de uma ou outra tecnologia, atual e futurista, têm no valor de final da Autonomia, fez-se confrontações de diferentes gráficos. Analogamente, as mesmas foram efetuadas tendo em conta a variabilidade do local, tal como já foi referenciado, isto quer na vertente temporal diária ou mensal.

Apesar de terem sido analisados 5 locais diferentes em Portugal Continental, irá dar-se ênfase a Porto e Lisboa, isto porque os dados vindouros e analisados na secção 4, relativos à mobilidade, são destas duas zonas.

Nas seguintes figuras sobrepõem-se os gráficos da autonomia diária para a tecnologia atual, e para a tecnologia futura, isto para a cidade do Porto e Lisboa, durante o período de 1 ano.

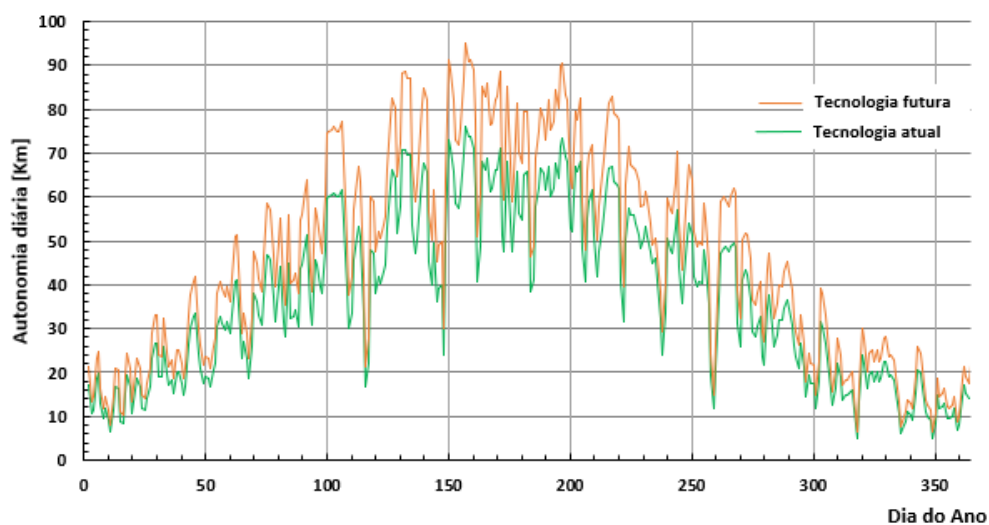


Figura 3.4: Autonomia solar diária para os 2 cenários tecnológicos em estudo no Porto.

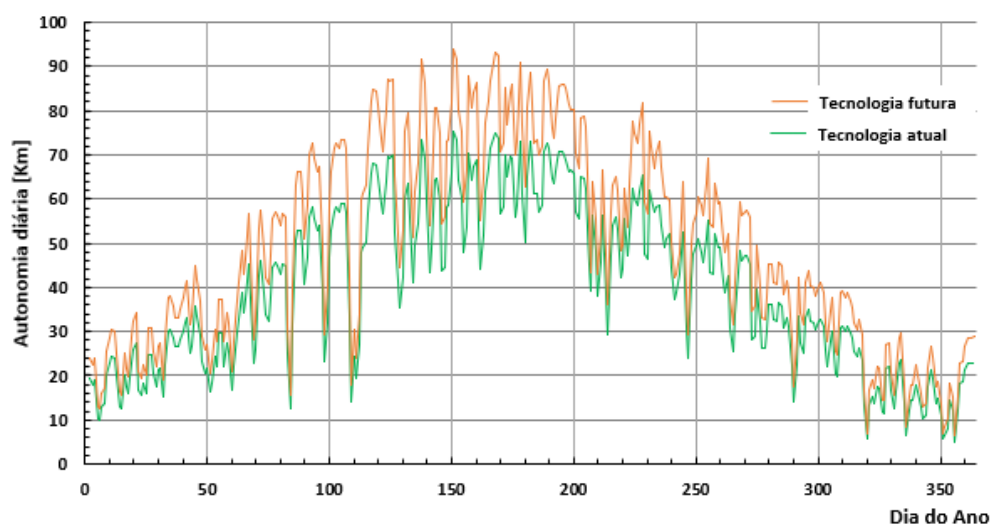


Figura 3.5: Autonomia solar diária para os 2 cenários tecnológicos em estudo em Lisboa.

Como seria expectável, tanto numa cidade como noutra a autonomia diária futura, é superior à atual, quer seja pelo consumo mais reduzido ou pela maior percentagem de energia convertida. Um automóvel com tecnologia atual pode fazer cerca de 13500 *km* num ano, isto para a cidade Porto, e com a tecnologia futura implementada atingiria 16700 *km*, resultando num acréscimo de quase 25%, acontecendo algo semelhante para a cidade de Lisboa, onde um automóvel com tecnologia atual tem uma autonomia anual de 14500*km* e para a tipologia futura, a autonomia ronda os 17800 *km*. Isto, demonstra a potencialidade que eventualmente possa ser atingida, ao haver melhoramentos na indústria em causa, quer seja pelo aumento da eficiência das células fotovoltaicas, quer pela diminuição do consumo energético do automóvel.

Adicionalmente, procedeu-se à determinação do dia e semana críticos, isto em termos de autonomia solar obtida. Concluiu-se que para a cidade do Porto, o pior dia em termos de transformação energética seria o dia 15, correspondendo ao mês de Janeiro, enquanto que a semana critica seria a 50, correspondendo ao final do ano, no mês de Dezembro. Aconteceu algo similar em Lisboa, sendo o dia critico, o dia 5 de Janeiro, e a semana, 51, também no final de Dezembro. Estas diferenças temporais em termos de análise são relevantes, e de grande importância para o posterior tratamento e confrontação de dados, entre a mobilidade e autonomia obtida, como se verá adiante.

É ainda possível constatar, uma maior proeminência de autonomia no gráfico da figura 3.5, evidenciando portanto uma maior capacidade de transformação energética no clima de Lisboa quando comparado com o clima do Porto. Para evidenciar mais concretamente estas diferenças, subsequentemente são apresentadas as autonomias mensais para as duas cidades.

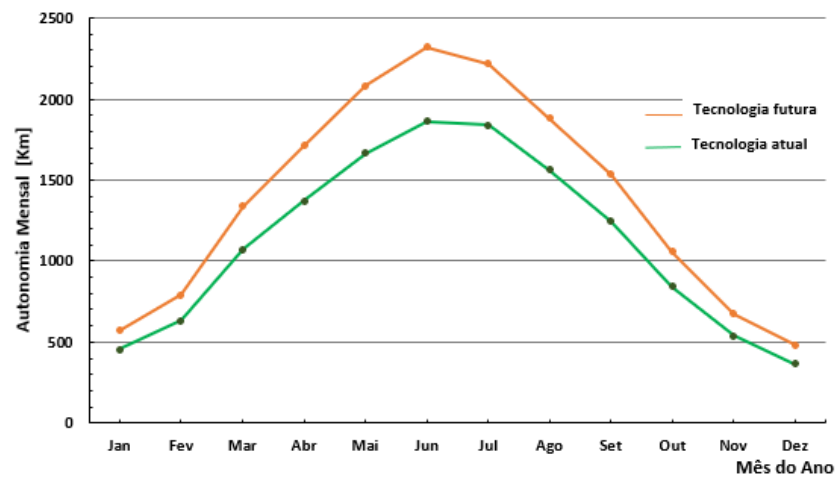


Figura 3.6: Autonomia solar mensal para os 2 cenários tecnológicos em estudo no Porto.

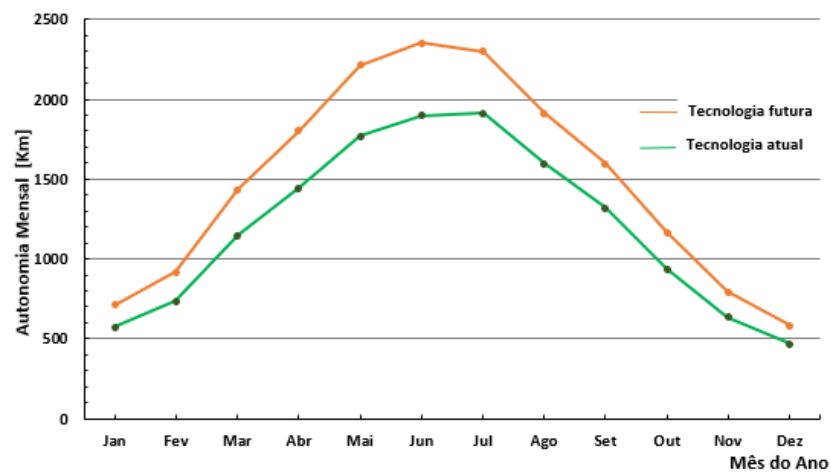


Figura 3.7: Autonomia solar mensal para os 2 cenários tecnológicos em estudo em Lisboa.

O pressuposto estabelecido na análise dos gráficos das figuras 3.1 e 3.2 é assim verificado. A localização geográfica irá influenciar a quantidade de energia transformada e consequentemente a autonomia solar obtida.

Ulteriormente, sobrepõem-se as ilustrações gráficas da autonomia atual para todas as cidades portuguesas referidas.

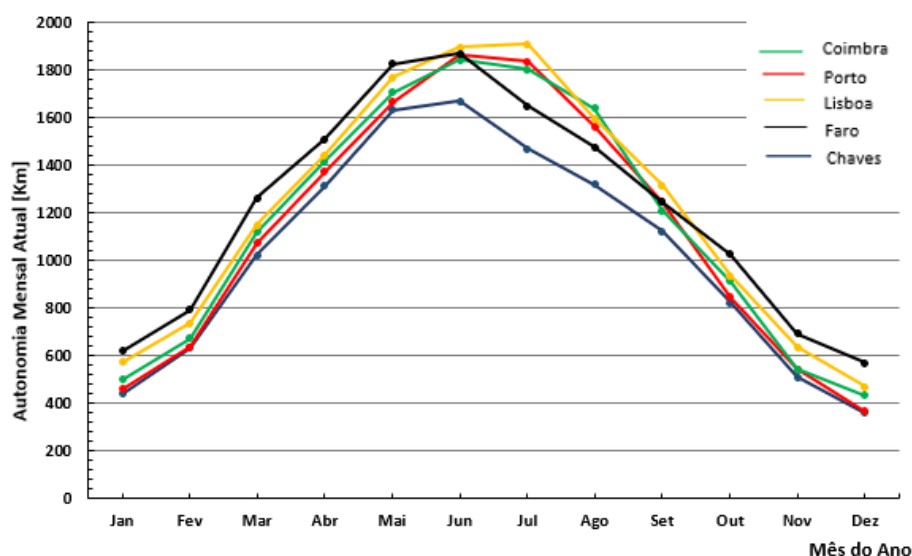


Figura 3.8: Autonomia Mensal para as cidades portuguesas mencionadas.

É possível inferir a existência de comportamentos diferenciados dos valores de autonomia atual mensal, consoante a cidade a que nos encontramos, e o consequente aumento da latitude. Estes valores são concordantes com o gráfico da figura 3.3, que apresenta uma tendência similar ao da figura 3.8. Torna-se evidente a influência do local para a viabilidade da tecnologia em estudo, revelando assim a utilidade da análise deste capítulo. Contextualizando, o clima português apresenta variações comparativamente ao clima espanhol, no entanto, existirão oscilações significativas dentro do próprio país, e, tanto uma análise como outra, irão influenciar o potencial ganho de autonomia solar.

Em última instância, o procedimento de cálculo apresentado é uma mera aproximação da potencialidade de acréscimo de autonomia para dois cenários tecnológicos distintos. Seria necessário um procedimento mais rigoroso, que contemplasse as zonas de sombreamento, o formato complexo dos painéis que se moldam à carroçaria, assim como os elementos climatéricos que afetam a eficiência do processo, e ainda, a utilização da radiação solar incidente específica para cada caso. Porém a adição de fatores de erro, surge na tentativa de contornar essas aproximações e tornar o procedimento mais preciso.

Capítulo 4

Análise com dados e cenários de mobilidade

Após a estimativa da autonomia bruta, abordada na secção anterior, estão reunidas as condições necessárias para incluí-la na análise da mobilidade em Portugal. Tendo acesso à informação relevante em termos de deslocações/viagens efetuadas pelos condutores portugueses, é possível determinar a distância média percorrida e confrontá-la com a autonomia solar obtida com base nas duas tecnologias abordadas. Esta confrontação permitirá analisar o potencial de sustentabilidade de cada uma das tecnologias, e a necessidade de carregamento ao longo de um ano de referência, isto para 365 valores de autonomia diária das duas cidades, em concordância com a secção 3. Geraram-se perfis de condutores para as duas abordagens, diária e semanal, na secção 4.1.

Inicialmente, surgiram dificuldades na procura de informação relativa à mobilidade dos condutores portugueses. Após consulta de diversas plataformas, foi possível obter uma distribuição da distância média percorrida pelos condutores nas áreas metropolitanas do Porto e Lisboa, em função de 8 trajetos diferentes. No entanto, os dados apresentados são insuficientes, uma vez que não havia informação sobre o número de trajetos percorridos, ou da sua disposição, e assim sendo, a distância total percorrida era desconhecida. Os dados disponibilizados pelo INE(18), encontram-se expressos na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Distância média diária percorrida nas áreas metropolitanas(AM) do Porto e Lisboa.(18)

Nº	Trajetos	Dist. Média AMP [km]	Dist. Média AML [km]
1	Trabalho(T)	12.6	13.1
2	Compras(C)	6.9	5.7
3	Acompanhar fam./amigos(AF)	7	6.9
4	Assuntos pessoais(AP)	11.7	15.8
5	Lazer(L)	12.9	13.1
6	Estudo(E)	7.4	6.7
7	Outra atividade(O)	15.3	11.6
8	Regresso a casa(R)	10.1	10.3

Desta forma, na análise diária, efetuou-se uma distribuição uniforme, em função do número de trajetos percorridos, havendo um condutor percorreria a totalidade dos trajetos. Esta distribuição ocorreu de forma aleatória, como se verá adiante. Especificamente, formaram-se grupos de 3 condutores, que percorreram 1,2,3 trajetos, e assim por diante, até ao condutor que percorre os 8 trajetos mencionados. Este arranjo garante uma boa diversidade quanto à distância percorrida pelos automobilistas portugueses. O grupo de condutores que percorre 1 trajeto apresentará um dado intervalo de distância percorrida, assim como o grupo de condutores que percorre 2 trajetos, imperando a mesma lógica para os restantes grupos. Posto isto, depreende-se que o grupo de condutores que percorre 5 trajetos irá realizar mais quilómetros que o grupo de condutores que percorre 4, estando dependentes da distância associada a cada um dos deles. Os diferentes valores de distância percorrida são assim representativos de vários tipos de condutores, desde os que percorrem poucos quilómetros anualmente, até àqueles que realizam maiores distâncias. Posteriormente, agregou-se um outro condutor que percorreria a distância média efetiva disponibilizada pelo INE. O condutor MED segue uma distribuição parametrizada por coeficientes, representando a distância média percorrida pelos condutores nas duas AMs, em concordância com os trajetos da tabela 4.1. O processo de cálculo encontra-se detalhado no final da secção 4.1.1.

Na análise semanal, criaram-se 10 perfis de condutores, novamente em concordância com os valores de distância da tabela 4.1. Contrariamente à análise anterior, não ocorreu agrupamento de condutores em função do número de trajetos percorridos. Neste caso, procurou-se uma distribuição lógica de trajetos para diversas tipologias de condutores, desde estudantes, trabalhadores, reformados, entre outros. Finalmente, adicionou-se um condutor que percorreria a distância média efetiva, tal como aconteceu na abordagem anterior. Assim sendo, o condutor Álvaro representa para a análise semanal, o que o condutor MED representa para a análise diária e, ambos percorrem a mesma distância anualmente.

A utilidade destas distribuições, agrupadas em diferentes vertentes temporais, assenta na possibilidade de retirar facilmente ilações, mais realistas, sobre a capacidade de autonomia que um condutor, possa ter ao utilizar um veículo solar.

Deve ser tido em conta, o facto de a abordagem comparativa entre a autonomia solar ganha pelo processo de conversão energética e a distância percorrida por cada um dos utilizadores ser feita no mesmo espaço temporal. Exemplificando, a autonomia disponível no dia 21 é confrontada com a distância percorrida nesse mesmo dia, sendo a mesma considerada constante na análise em causa. Esse efeito é compensado, assumindo que existe autonomia disponível do dia anterior, neste caso, dia 20, e que permitirá a deslocação aquando do ganho de autonomia desse mesmo dia. Os efeitos são assim balanceados, podendo anular-se, e o procedimento comparativo utilizado forma uma estimativa coerente.

4.1 Tratamento de dados

4.1.1 Análise diária

Tendo em consideração os valores da tabela 4.1, houve a necessidade de implementação de uma distribuição uniforme, gerada aleatoriamente, em concordância com o mencionado inicialmente. A aleatoriedade na atribuição dos trajetos aos grupos de condutores propostos, garante uma maior diversidade nos valores de distância, havendo maior representatividade para a confrontação com os valores de autonomia obtidos. Assim sendo, procedeu-se à criação de dados agrupados consoante o número de trajetos percorridos. Mais concretamente, formaram-se grupos de 3 condutores que efetuaram entre 1 a 7 trajetos e, 1 condutor adicional que efetuará a totalidade dos trajetos. A tabela 4.2 resume a distribuição de condutores por número de trajetos percorridos, em concordância com o que foi explicado.

Tabela 4.2: Distribuição dos condutores para as duas cidades, tendo em conta o número de trajetos percorridos.

Nº de trajetos percorridos	Grupos de condutores
1	A,I,P
2	B,J,Q
3	C,K,R
4	D,L,S
5	E,M,T
6	F,N,U
7	G,O,V
8	H

A tabela apresentada será relevante na discussão de resultados, pois permitirá comparar grupos de condutores, e verificar a variação existentes entre os elementos dos mesmos.

O processo de geração de trajetos foi arquitetado recorrendo, uma vez mais, ao *Excel* através da função `RAND()`, que gera números aleatórios entre 0 e 1, sendo depois necessário utilizar a função `MATCH()` e `LARGE()` para estabelecer correspondência entre os valores gerados e os 8 trajetos. Foram geradas 3 séries. A primeira com 8 condutores, de A a H, a segunda e terceira com 7, de I a O, e P a V, respetivamente e de acordo, com os dados expostos na tabela 4.2. Para um melhor entendimento, as figuras seguintes ilustram, cada uma das séries mencionadas.

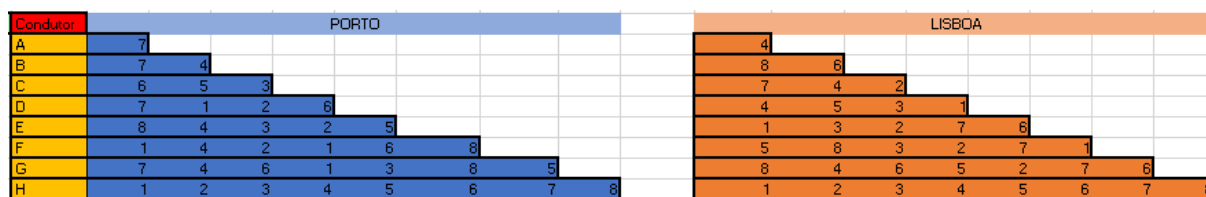


Figura 4.1: Primeira série de condutores e os respetivos trajetos percorridos para as duas cidades em análise.

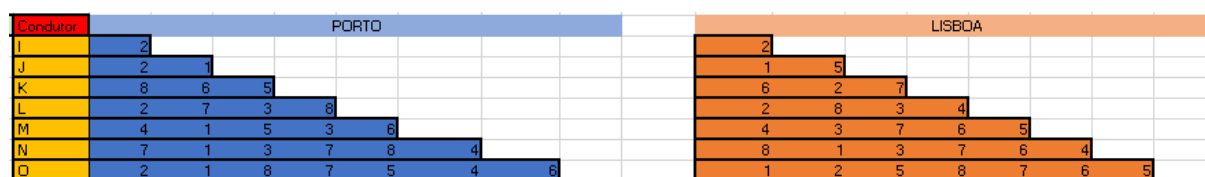


Figura 4.2: Segunda série de condutores e os respectivos trajetos percorridos para as duas cidades em análise

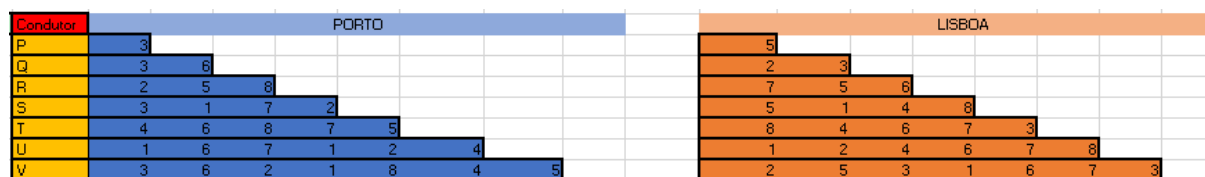


Figura 4.3: Terceira série de condutores e os respectivos trajetos percorridos para as duas cidades em análise.

Posteriormente, efetuou-se o somatório em termos de distância total percorrida para cada um dos condutores e respectivos trajetos realizados. Houve assim, cruzamento de informação entre a tabela 4.1, que contém as distâncias médias de cada um dos trajetos nas duas AMs, e as figuras 4.1 a 4.3 que contemplam, os dados relativos ao trajetos efetuados por cada um dos condutores. Exemplificando, o condutor K, realiza os trajetos 8,6 e 5, por sua vez, deslocação por estudo, outra por lazer, e o regresso a casa, que se traduzirá em 30.4 km percorridos na AMP. Todos estes dados encontram-se expressos na tabela subsequente. Houve a necessidade de criar uma tabela adicional, com os valores de distância total anual percorridos, isto porque os parâmetros de análise são desta ordem temporal, como será visto adiante.

Tabela 4.3: Distância total diária percorrida pelos condutores gerados para as áreas metropolitanas de Porto e Lisboa

Condutor	Dist. Total AMP [km]	Dist. Total AML [km]
A	15.3	15.8
B	27	17
C	27.3	33.1
D	42.2	48.9
E	48.6	44
F	61.3	60.7
G	77	69.9
H	83.9	83.2
I	6.9	5.7
J	19.5	26.2
K	30.4	24
L	39.3	38.7
M	51.6	54.1
N	72	64.4
O	76.9	73.6
P	7	13.1
Q	14.4	12.6
R	29.9	31.4
S	41.8	52.3
T	57.4	51.3
U	66.5	63.2
V	68.6	64

Tabela 4.4: Distância total anual percorrida pelos condutores gerados para as áreas metropolitanas de Porto e Lisboa

Condutor	Dist. Total AMP [km]	Dist. Total AML [km]
A	5584.5	5767
B	9855	6205
C	9964.5	12081.5
D	15403	17848.5
E	17739	16060
F	22374.5	22155.5
G	28105	25513.5
H	30623.5	30368
I	2518.5	2080.5
J	7117.5	9563
K	11096	8760
L	14344.5	14125.5
M	18834	19746.5
N	26280	23506
O	28068.5	26864
P	2555	4781.5
Q	5256	4599
R	10913.5	11461
S	15257	19089.5
T	20951	18724.5
U	24272.5	23068
V	25039	23360

Finalmente, é possível fazer a comparação entre as distâncias totais percorridas por cada um dos condutores para as duas AMs e os valores de autonomia diários anuais, quer para a tecnologia atual, quer para a tecnologia futura. O intuito desta comparação é determinar quantas vezes no ano, os condutores dependem de carregamento externo para assegurarem o valor de distância que percorrem. Para tal, constituiu-se uma função no *Excel VBA* que comparava os valores da tabela 4.4 com os 365 valores de autonomia diária para as duas tipologias tecnológicas, assinalando os dias onde a distância percorrida era superior à autonomia disponibilizada. Com o valor das ocorrências anuais é possível determinar a percentagem dos dias do ano em que não é necessário carregamento (*No charge (%)*).

Recorrendo a uma outra lógica, e implementando o código subadjacente, é possível determinar os quilómetros efetuados com recurso à rede elétrica. A lógica, implica efetuar a diferença entre a distância diária percorrida e autonomia diária, e somar essa parcela, sucessivamente, nos respetivos dias das ocorrências, obtendo-se assim um total anual correspondente à Dist.Percorrida CE*, das tabelas subsequentes. A distância percorrida em modo solar, obtém-se, simplesmente, pela diferença entre a distância total anual e os quilómetro percorridos, fruto de carregamento externo. O fator de quilómetros em modo solar corresponde à proporção entre a distância percorrida de origem solar, sobre a distância total realizada. Os dados resultantes foram novamente agrupados em 4 tabelas, 4.5 a 4.8, consoante os 2 cenários tecnológicos em estudo, e para as duas AMs em causa.

Tabela 4.5: Resultados para a tecnologia atual na AMP

Tecnologia Atual						
Condutor	Ocorrências	No Charge Anual [%]	Dist.percorrida CE* [km]	Dist.percorrida MS* [km]	Quilômetros em MS* [%]	Nº trajetos percorridos
A	62	83.0	311.6	5272.9	94.4	1
I	12	96.7	23.4	2495.1	99.1	
P	15	95.9	24.8	2530.2	99.0	
B	141	61.4	1545.6	8309.4	84.3	2
J	94	74.2	654.8	6462.8	90.8	
Q	52	85.8	260.4	4995.6	95.0	
C	145	60.3	1588.4	8376.1	84.1	3
K	160	56.2	2057.6	9038.4	81.5	
R	155	57.5	1978.3	8935.2	81.9	
D	213	41.6	4292.6	11110.0	72.1	4
L	199	45.5	3694.3	10650.0	74.2	
S	210	42.5	4207.7	11049.0	72.4	
E	250	31.5	5763.7	11975.0	67.5	5
M	265	27.4	6540.6	12293.0	65.3	
T	284	22.2	8137.8	12813.0	61.1	
F	308	15.6	9293.6	13081.0	58.5	6
N	355	2.7	12830.0	13450	51.2	
U	329	9.9	10953.0	13320.0	54.9	
G	365	0.0	14629.0	13476.0	47.9	7
O	365	0.0	14592.0	13476.0	48.0	
V	337	7.7	11653.0	13386.0	53.4	
H	365	0.0	17147.0	13476.0	44.0	8

Tabela 4.6: Resultados para a tecnologia futura na AMP

Tecnologia Futura						
Condutor	Ocorrências	No Charge Anual [%]	Dist.percorrida CE* [km]	Dist.percorrida MS* [km]	Quilômetros em MS* [%]	Nº trajetos percorridos
A	39	89.3	203.7	5380.8	96.3	1
I	8	97.8	12.3	2506.2	99.5	
P	9	97.5	13.2	2541.8	99.5	
B	112	69.3	1090.7	8764.3	88.9	2
J	65	82.2	413.5	6704.0	94.2	
Q	34	90.7	171.4	5084.6	96.7	
C	114	68.8	1124.4	8840.1	88.7	3
K	125	65.7	1491.7	9604.3	88.6	
R	124	66.0	1429.6	9483.9	86.9	
D	183	49.9	3301.8	12101.0	78.6	4
L	168	54.0	2791.3	11553.0	80.5	
S	180	50.7	3229.4	12028.0	78.8	
E	199	45.5	4530.4	13209.0	74.5	5
M	213	41.6	5148.9	13685.0	72.7	
T	238	34.8	6452.1	14499.0	69.2	
F	259	29.0	7418.7	14956.0	66.8	6
N	286	21.6	10358.0	15922.0	60.6	
U	276	24.4	8806.9	15466.0	63.7	
G	312	14.5	11867.0	16238.0	57.8	7
O	312	14.5	11836.0	16223.0	57.8	
V	281	23.0	9393.3	15646.0	62.5	
H	334	8.5	14114.0	16509.0	53.9	8

Tabela 4.7: Resultados para a tecnologia atual na AML

Tecnologia Atual						
Condutor	Ocorrências	No Charge Anual [%]	Dist.percorrida CE*[km]	Dist.percorrida MS* [km]	Quilómetros em MS* [%]	Nº trajetos percorridos
A	43	88.2	239.2	5527.8	95.8	1
I	6	98.4	8.6	2071.9	99.6	
P	30	91.8	145.9	4635.6	96.9	
B	49	86.6	294.1	5910.9	95.3	2
J	113	69.0	1035.0	8528.0	89.2	
Q	30	91.8	130.9	4468.1	97.1	
C	163	55.3	1962.1	10119.0	83.8	3
K	98	73.2	801.9	7958.1	90.8	
R	151	58.6	1696.4	9764.6	85.2	
D	235	35.6	5070.2	12778.0	71.6	4
L	186	49.0	2954.3	11171.0	79.1	
S	251	31.2	5898.4	13195.0	69.1	
E	209	42.7	3987.6	12072.0	75.2	5
M	258	29.3	6353.3	13393.0	67.8	
T	246	32.6	5646.6	13078.0	69.8	
F	300	17.8	8209.6	13946.0	62.9	6
N	314	14.0	9341.8	14164.0	60.2	
U	309	15.3	8968.2	14100.0	61.1	
G	342	6.3	11139.0	14375.0	56.3	7
O	355	2.7	12431.0	14433.0	53.7	
V	312	14.5	9216.6	15143.0	60.5	
H	365	0.0	15920.0	14448.0	47.6	8

Tabela 4.8: Resultados para a tecnologia futura na AML

Tecnologia Futura						
Condutor	Ocorrências	No Charge Anual [%]	Dist.percorrida CE*[km]	Dist.percorrida MS* [km]	Quilómetros em MS* [%]	Nº trajetos percorridos
A	30	91.8	226.9	5540.1	96.1	1
I	3	99.2	6.9	2073.6	99.7	
P	22	93.9	134.7	4646.8	97.2	
B	31	91.5	266.6	5938.3	95.7	2
J	75	79.4	930.4	8632.6	90.3	
Q	20	94.5	119.0	4480.0	97.4	
C	113	69.1	1814.	10267.0	85.0	3
K	63	82.7	719.0	8041.0	91.8	
R	108	70.4	1594.5	9866.5	86.1	
D	190	47.9	4881.5	12967.0	72.6	4
L	147	59.7	2762.1	11363.0	80.4	
S	197	46.0	5609.0	13480.0	70.6	
E	178	51.2	3879.5	12180.0	75.8	5
M	207	43.3	6075.0	13672.0	69.2	
T	195	46.6	5393.0	13331.0	71.2	
F	241	33.9	7902.9	14253.0	64.3	6
N	256	29.9	8980.6	14525.0	61.8	
U	249	31.8	8600.1	14468.0	62.7	
G	281	23.0	10754.0	14760.0	57.8	7
O	294	19.4	11966.0	14868.0	55.3	
V	249	30.4	8856.5	14503.0	62.1	
H	329	9.9	15499.0	14869.0	48.9	8

Posteriormente, recolheu-se informação complementar aos dados da tabela 4.1. A plataforma do INE, disponibiliza tanto a distância média percorrida por trajeto, como a contribuição de cada trajeto para o valor total de distância percorrida por intermédio de coeficientes. Os mesmos encontram-se expressos nas equações 4.1 e 4.2. A limitação mencionada no início do capítulo é assim colmatada, e existindo informação relativa à distância média percorrida pelos condutores nas duas AMs, torna-se imprescindível acrescentá-la aos perfis examinados.

Posto isto, analisou-se o valor médio efetivo de distância diária percorrida pelo condutor *MED*. Utilizou-se um processo análogo para proceder à determinação da distância média percorrida na

AML. Os resultados estão expressos nas duas equações referenciadas.

$$\text{Dist}_{\text{Total}, \text{Mdia}} = 0.3691 \times T + 0.1665 \times C + 0.2366 \times AF + 0.1312 \times AP + 0.0842 \times E + 0.0151 \times E + 0.0028 \times O + 0.7318 \times R = 17.6\text{km}(4.1)$$

$$\text{Dist}_{\text{Total}, \text{Mdia}} = 0.5253 \times T + 0.2423 \times C + 0.3567 \times AF + 0.1618 \times AP + 0.123 \times E + 0.0248 \times E + 0.0073 \times O + 1.0368 \times R = 25.8\text{km}(4.2)$$

Efetuuou-se o mesmo procedimento, tal como no perfil de condutores analisado anteriormente, e obteve-se os parâmetros de confrontação entre a autonomia diária e a distância média percorrida, sendo os resultados expressos nas duas tabelas subsequentes.

Tabela 4.9: Parâmetros relevantes para o condutor *MED* na AMP

Tecnologia Atual				
Ocorrências	No Charge [%]	Dist.percorrida CE* [km]	Dist.percorrida MS* [km]	Quilómetros MS* [%]
85	76.7	486.3	5946.0	92.4
Tecnologia Futura				
49	86.6	306.6	6125.7	95.2

Tabela 4.10: Parâmetros relevantes para o condutor *MED* na AML

Tecnologia Atual				
Ocorrências	No Charge [%]	Dist.percorrida CE* [km]	Dist.percorrida MS* [km]	Quilómetros MS* [%]
110	69.9	988.9	8424.0	89.5
Tecnologia Futura				
72	80.3	884.5	8528.3	90.6

4.1.2 Análise semanal

O tratamento de dados na análise semanal foi realizado com base nos dados da tabela 4.1, de forma análoga à análise diária. Desta forma, procedeu-se à criação de dados, isto é, obtiveram-se valores de distância razoáveis, seguindo a lógica mencionada no início do capítulo. O único critério de base utilizado, foi a média de distância diária percorrida pelos condutores nas duas AMs, transpondo-se para a vertente semanal. Por conseguinte, os valores obtidos para a distância total percorrida pelos condutores, teria de estar dentro do valor médio predeterminado e ser congruente com a tipologia associada ao condutor. Seguiu-se o processo de confrontação com os dados diários de autonomia, havendo, novamente, a necessidade de os agrupar em dados semanais, respeitando a concordância temporal na análise.

As tabelas 4.11 e 4.12, expõem a distribuição dos trajetos percorridos pelos condutores nas duas áreas metropolitanas, tendo por base a lógica referenciada.

Tabela 4.11: Distribuição dos trajetos percorridos pelos condutores para a área metropolitana do Porto

Condutor	Trajetos($\times 5$)*	Traj. Fim de sem.($\times 2$)*
André	T,O,R	N/A
Bernardo	L,E,R	C,AF,R
Camila	C,AF,R	T,R
Dália	E,R	L,R
Edmundo	AF	N/A
Fernando	L,R	C,R
Gil	T,AP,R	T,O,R
Helga	C,AF	N/A
Inês	O	N/A
João	T,R	N/A

A sigla N/A, não atribuído, indica que os condutores não realizam trajetos durante o final de semana. Os trajetos destacados a negrito apontam para a realização semanal dos mesmos, isto é, os condutores percorrem o trajeto 7 vezes. Concretamente, o Edmundo, a Helga e a Inês enquadram-se nos 2 casos mencionados. O Bernardo desloca-se por motivos de estudo, lazer, e regressa a casa 7 vezes na semana. Para além disso, ao fim de semana, vai às compras, acompanha familiares/amigos e regressa a casa. O Gil, tem o trajeto "Trabalho" destacado, uma vez que realiza várias deslocações semanais no âmbito da sua profissão, especificamente 12. As restantes deslocações ocorrem nos dias úteis. No fim de semana, desloca-se para outra atividade, e regressa a casa. Os restantes condutores, obedecem aos fatores de multiplicação, visíveis na primeira linha das colunas dos trajetos da tabela 4.11.

Tabela 4.12: Distribuição dos trajetos percorridos pelos condutores para a área metropolitana de Lisboa

Condutor	Trajetos($\times 5$)*	Traj. Fim de sem.($\times 2$)*
André	T,C,R	N/A
Bernardo	T,AF,O,R	N/A
Camila	T,R	AP,R
Dália	T,AF,AP,R	C,R
Edmundo	L,E,R	AF,R
Fernando	C,O,R	L,R
Gil	C,L,R	T,R
Helga	T,AP,L,R	N/A
Inês	T,C,E,R	N/A
João	AF,R	O,R

Analogamente à tabela anterior, os trajetos destacados indicam que não cumprem os fatores de multiplicação expostos. A Dália e o Edmundo, realizam os respetivos trajetos 3 vezes no final de semana. Já o Fernando desloca-se 4 vezes por motivos de lazer, e regressa a casa no mesmo período. A Helga, assim como o Gil do Porto, desloca-se várias vezes durante a semana fruto da sua ocupação. Como tal, realiza este trajeto 14 vezes. A Inês realiza 4 trajetos, 7 vezes por semana. Os restantes condutores, tal como anteriormente, obedecem ao fator de multiplicação imposto nas colunas dos trajetos.

A tabela resultante do somatório das distâncias dos trajetos expostos nas duas tabelas anteriores denota os valores de distância semanal percorrida pelos 10 condutores gerados. Adicionalmente, houve a necessidade de apresentar os dados na vertente anual, para exposição dos resultados relevantes e conclusivos, tal como aconteceu previamente.

Tabela 4.13: Distância total semanal percorrida pelos condutores gerados para as áreas metropolitanas de Porto e Lisboa

Condutor	Dist. Total AMP [km]	Dist. Total AML [km]
André	190.0	145.5
Bernardo	260.8	209.5
Camila	165.4	169.2
Dália	133.5	278.5
Edmundo	49.0	202.1
Fernando	149.0	231.6
Gil	311.0	192.3
Helga	97.3	379.4
Inês	107.1	250.6
João	113.5	129.8

Tabela 4.14: Distância total anual percorrida pelos condutores gerados para as áreas metropolitanas de Porto e Lisboa

Condutor	Dist. Total AMP [km]	Dist. Total AML [km]
André	9880.0	7566.0
Bernardo	13561.6	10894.0
Camila	8600.8	8798.4
Dália	6942.0	14482.0
Edmundo	2548.0	10509.2
Fernando	7748.0	12043.2
Gil	16172.0	9999.6
Helga	5059.6	19728.8
Inês	5569.2	13031.2
João	5902.0	6749.6

O processo de obtenção de resultados foi similar ao da análise anterior com pequenas diferenças e, alterações no código *VBA* do *Excel*, consequência da própria variação temporal dos dados em estudo. As tabelas resultantes são expostas adiante, por intermédio dos parâmetros anuais, detalhados na sub-secção anterior.

Tabela 4.15: Resultados relevantes para a tecnologia atual na AMP

Tecnologia Atual					
Condutor	Ocorrências	No Charge Anual [%]	Dist.percorrida CE* [km]	Dist.percorrida MS* [km]	Quilómetros MS* [%]
André	19	63.5	1288.2	8591.8	87.0
Bernardo	25	51.9	2852.7	10708.9	78.9
Camila	16	69.2	859.2	7741.6	90.1
Dália	13	75.0	405.1	6537.0	94.2
Edmundo	0	100.0	0.0	2548.0	100.0
Fernando	14	73.1	614.2	7133.7	92.1
Gil	33	36.5	4361.8	11810.1	73.0
Helga	4	92.3	55.8	5003.8	98.9
Inês	7	86.5	111.1	5458.1	98.0
João	9	82.7	166.4	5735.5	97.2

Tabela 4.16: Resultados relevantes para a tecnologia futura na AMP

Tecnologia Futura					
Condutor	Ocorrências	No Charge Anual [%]	Dist.percorrida CE*[km]	Dist.percorrida MS* [km]	Quilómetros MS* [%]
André	15	71.2	821.0	9059.0	91.7
Bernardo	21	59.6	2076.1	11485.7	84.7
Camila	13	75.0	487.2	8113.6	94.3
Dália	7	86.5	136.3	6805.7	98.0
Edmundo	0	100.0	0.0	2548.0	100.0
Fernando	11	78.9	282.1	7465.9	96.3
Gil	25	51.9	3215.0	12957.0	80.1
Helga	1	98.1	2.9	5056.6	99.9
Inês	2	96.2	17.5	5551.7	96.1
João	4	92.3	37.3	5864.7	99.4

Tabela 4.17: Resultados relevantes para a tecnologia atual na AML

Tecnologia Atual					
Condutor	Ocorrências	No charge Anual [%]	Dist.percorrida CE*[km]	Dist.percorrida MS* [km]	Quilómetros MS* [%]
André	9	82.7	311.9	7254.1	95.9
Bernardo	19	63.5	1194.4	9699.6	89.0
Camila	12	76.9	555.1	8243.3	93.7
Dália	26	50.0	2785.0	11697.0	80.8
Edmundo	17	67.3	1059.0	9450.2	89.9
Fernando	21	59.6	1620.5	10422.7	86.5
Gil	17	67.3	892.4	9107.2	91.1
Helga	38	26.9	6034.7	13694.0	69.4
Inês	25	51.9	2064.3	10967.0	84.2
João	7	86.5	182.9	6566.7	97.3

Tabela 4.18: Resultados relevantes para a tecnologia futura na AML

Tecnologia Futura					
Condutor	Ocorrências	No Charge Anual [%]	Dist.percorrida CE*[km]	Dist.percorrida MS* [km]	Quilómetros MS* [%]
André	6	88.5	116.1	7449.9	98.5
Bernardo	12	76.9	669.8	10224.1	93.8
Camila	8	84.6	280.5	8517.8	96.8
Dália	19	63.5	1808.9	12673.1	87.5
Edmundo	10	80.8	585.0	9924.2	94.4
Fernando	16	69.2	972.1	11071.1	91.9
Gil	10	80.8	487.0	9512.6	95.1
Helga	30	42.3	4403.3	15324.0	77.7
Inês	17	67.3	1289.4	11742.0	90.1
João	2	96.1	49.1	6700.5	99.3

Seguindo a mesma perspectiva da análise diária, procedeu-se à determinação da distância média semanal percorrida pelo condutor *Álvaro*, simplesmente multiplicando o valor médio diário por 7. Seguidamente, e de maneira concordante com a subsecção anterior, determinaram-se os parâmetros essenciais de confrontação da mobilidade versus autonomia diária disponibilizada.

Tabela 4.19: Parâmetros relevantes para o condutor *Álvaro* na AMP

Tecnologia Atual				
Ocorrências	No Charge [%]	Dist.percorrida CE*[km]	Dist.percorrida MS* [km]	Quilómetros MS* [%]
12	76.9	274.4	6140.0	95.7
Tecnologia Futura				
5	90.4	78.0	6336.7	98.8

Tabela 4.20: Parâmetros relevantes para o condutor *Álvaro* na AML

Tecnologia Atual				
Ocorrências	No Charge [%]	Dist.percorrida CE* [km]	Dist.percorrida MS* [km]	Quilómetros MS* [%]
15	71.1	705.9	8681.0	92.5
Tecnologia Futura				
9	82.7	377.7	9009.4	96.0

4.2 Discussão de resultados

4.2.1 Análise diária

A discussão de resultados assentará na análise parcial da informação contida nas tabelas expostas anteriormente, focando-se nos valores médios, e alguns intervalos de valores considerados relevantes.

Do ponto de vista diário, um condutor que faça em média 3 trajetos, isto é, percorra uma distância entre 27 a 30 km, passará entre 56 a 60% dos dias do ano sem necessidade de carregar o seu automóvel, para a área metropolitana do Porto, na vertente tecnológica atual. Cerca de 80% dos quilómetros anuais realizados são de origem solar. Perante um cenário tecnológico futurista, o fator *No charge* cresce cerca de 8%, resultando numa distância percorrida em modo solar de até 9600 km anuais, superiores aos 9000 km da tecnologia atual. Relativamente, aos quilómetros recorrendo a carregamento externo, obteve-se valores de 1500 e 2000 km, respetivamente.

Analisando a capital para o mesmo grupo de condutores que percorrem uma distância diária entre 25 a 33 km, a necessidade de não-carregamento intervala de 55 a 73%, o que equivale a uma distância percorrida em modo solar de até 10100 km, isto perante a tecnologia atual. Numa vertente futurista, o percentual *No charge* cresce cerca de 10%.

O condutor *MED*, que percorre a distância média coerente com os dados facultados pelo INE, para a AMP e tecnologia atual, necessitará de carregar o seu veículo solar cerca de 20 % dos dias do ano, e apenas 15% se estivermos perante um cenário tecnológico futurista. Já na AML, o fator *No charge* é de cerca de 70%, 83%, se estivermos perante a tecnologia futura. O número de quilómetros percorridos em modo solar pode ascender em até 9000, sendo a distância percorrida em carregamento externo de cerca de 400 km.

O grupo de condutores que realiza em média 5 trajetos diários, no caso da AMP, percorre entre 49 a 57km, o que implica uma necessidade de carregamento de 68 a 78 %. A distância percorrida com recurso a carregamento externo pode ascender até 8000 km, já a distância MS atinge os 12800 . Isto implica que entre 60 a 68 % dos quilómetros são realizados autonomamente. Para o cenário tecnológico futuro, a situação melhora ligeiramente, e o fator quilómetros em MS, atinge os 75%, para o condutor "E", que se desloca, em média, 50 km por dia. A distância MS atinge os 14500 km. A necessidade de carregamento baixa mais de 10%. No caso da AML, o mesmo grupo de condutores, realiza entre 44 a 54 km semanais, praticamente idêntico aos condutores da AMP. A necessidade de carregamento varia entre 57 a 70 %, ou seja, quase 10% menos do quando comparado com a AMP. A distância percorrida CE, pode atingir os 6300 km. O termo percentual

quilómetros em MS, intervala entre 70 a 75 %, apresentando uma melhoria na mesma proporção que o carregamento anual.

O condutor H efetua mais de 80 *km* semanais. Assim, necessitaria de carregar o seu automóvel todos os dias para percorrer a distância proposta, tanto para a AMP, como para a AML. Tendo por base a perspetiva futurista, o fator *No Charge* varia entre 9 a 10 %, respetivamente. No entanto, o fator de quilómetros MS, anda sempre na ordem dos 50 %, isto é, metade da distância total anual percorrida é de origem solar, o que constituiu uma revelação interessante.

Para garantir uma ilustração mais evidente, da relação entre a distância percorrida em modo solar , e a distância percorrida recorrendo a carregamento externo, recorreu-se a uma série de gráficos que são expostos seguidamente. Como as diferenças de quilometragem são praticamente imperceptíveis numa escala anual, optou-se apenas por representar gráficos para a tecnologia atual nas duas AMs.

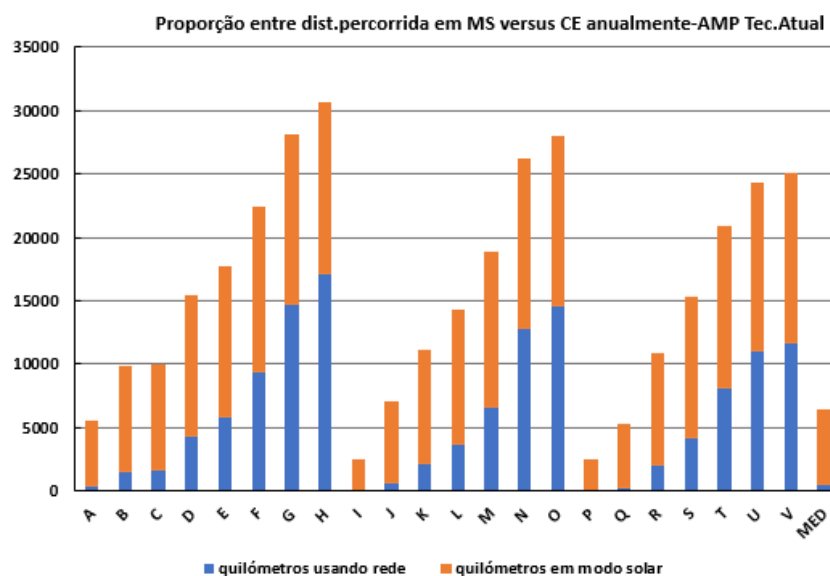


Figura 4.4: Distância percorrida em Modo Solar e em Carregamento Externo para a AMP com a Tecnologia Atual.

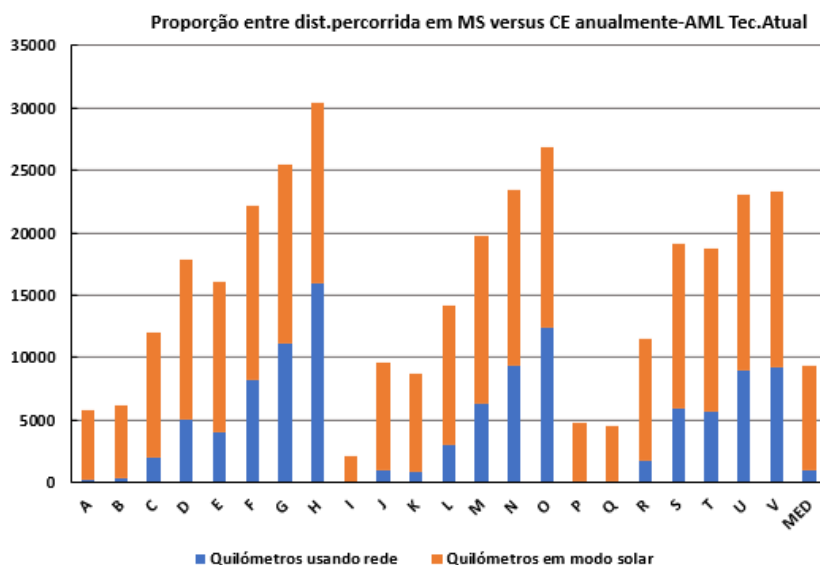


Figura 4.5: **Distância percorrida em Modo Solar e em Carregamento Externo para a AML com a Tecnologia Atual.**

Por constatação gráfica, os condutores que percorrem mais trajetos, estarão mais dependentes de carregamento externo, consequência do maior número de quilômetros que percorrem diariamente. Porém, também irão percorrer mais quilômetros em modo solar, estando no entanto este valor limitado em sintonia com a distância máxima percorrida. Para condutores que realizem, em média 7 trajetos diários, 50 a 60 % da distância total anual, será de origem solar. Para condutores que realizam apenas 1 trajeto, praticamente toda a distância que percorrem é de origem solar. Já o condutor *MED* realiza cerca de 90% da distância total de forma autônoma.

Finalmente, recorreu-se às potencialidades gráficas do *Excel* para analisar o comportamento de 2 parâmetros de análise. Obteve-se a distribuição do fator *No Charge* em função dos Quilômetros MS*, ambos de cariz percentual. O foco prendeu-se com o cenário tecnológico atual, isto porque a função resultante para a tecnologia futura apresentaria uma tendência similar.

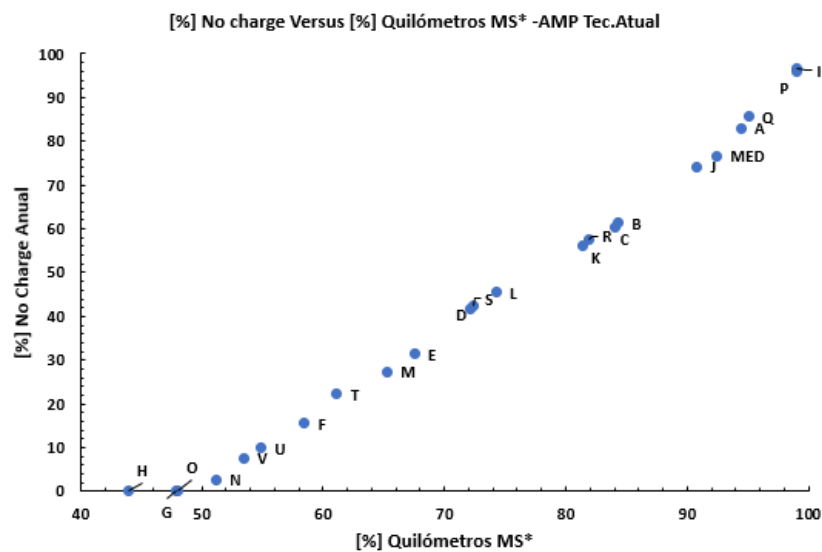


Figura 4.6: Confrontação entre o fator No charge e o fator Quilómetros MS* para a AMP com a Tecnologia Atual.

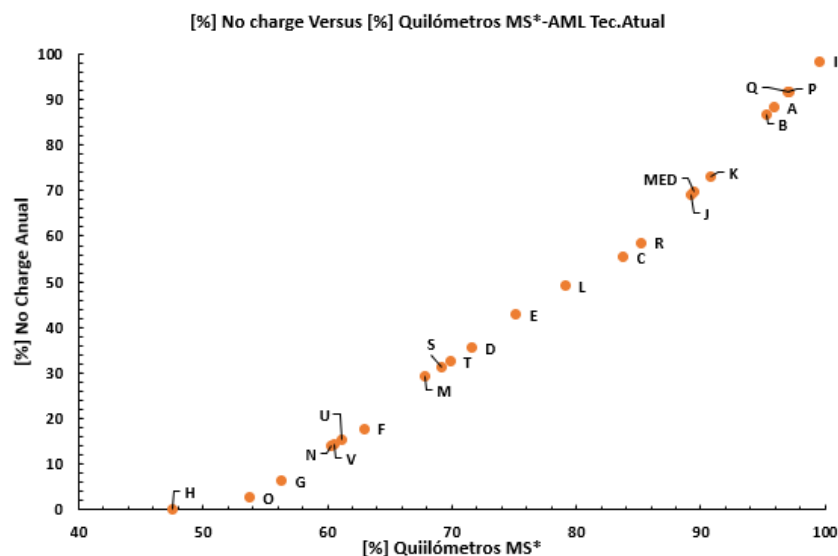


Figura 4.7: Confrontação entre o fator No charge e o fator Quilómetros MS* para a AML com a Tecnologia Atual.

Por observação gráfica da figura 4.6 e 4.7, é possível inferir que existe um comportamento, maioritariamente, linear da função em estudo, tendo por base as variáveis mencionadas. Condutores que percorram grande distâncias anuais, como é o caso do condutor H ou G, irão ter um fator *No charge* nulo, ou próximo disso, isto é, necessitarão de carregar o seu veículo em grande parte dos dias do ano. No entanto, uma percentagem considerável dos quilómetros que percorrem (cerca de metade) são de origem solar. Para os restantes condutores, o acréscimo do parâmetro *No charge* será proporcional ao crescimento dos Quilómetros em MS*, ou seja, quanto menor for a necessidade de carregamento, maior será a percentagem de quilómetros em modo solar.

4.2.2 Análise semanal

A Helga, a Inês, o João e o Álvaro, realizam 96% ou mais, dos quilómetros totais anuais de forma autónoma, isto para valores de distância que intervalam entre 100 a 120 *km* semanais, perante um cenário tecnologia atual na AMP. A distância percorrida com recurso a carregamento externo, pode ascender até aos 160 *km* anuais, já os quilómetros de origem solar chegam até aos 5700 *km*. Estes mesmos condutores, atingem praticamente a sustentabilidade num cenário futurista, onde os valores do fator percentual, quilómetros em MS, é superior a 99%. Apenas 80 *km* são efetuados utilizando a rede elétrica, isto para o condutor Álvaro, que realiza mais quilómetros autonomamente, especificamente, 6300 *km*.

A Camila e a Dália, deslocam-se 6500 a 7700 *km* de forma autónoma, o que corresponda a 90 a 94 % de percentagem de quilómetros em modo solar. Realizam a uma distância semanal que varia dos 130 aos 160 *km*. Na perspetiva tecnológica futura, ocorre um acréscimo de 4% em termos de proporção de quilómetros autónomos, o que corresponde a um ganho de cerca de 300 *km* anuais.

O Bernardo, a Camila, o Edmundo, o Gil e o Álvaro, condutores da AML, percorrem entre 89 a 94 % do total de quilómetros efetuados, em modo solar. Assim sendo, isto corresponderá a um intervalo de valores de 8200 a 9700 *km* anuais. Relativamente a quilómetros realizados com recurso a carregamento externo, os dados oscilam entre 550 a 1200 *km*. Este grupo de condutores realiza, semanalmente, 170 a 210 *km* semanais. O ganho de quilómetros solares cresce em média 3 % no cenário tecnológico futuro. Já os quilómetros percorridos de origem externa diminuem em cerca de 50%.

O André e o João, deslocam-se na AML, e percorrem, semanalmente, 130 a 145 *km*. Desta forma realizam 96 a 97 % da distância de forma autónoma, correspondendo a 7200 e 6500 *km* percorridos, respetivamente. Os quilómetros utilizando rede, variam entre 180 a 310. Num cenário tecnológico futuro, este grupo de condutores chega perto da sustentabilidade com valores a rondar os 99%, e o que corresponde a uma distância máxima anual de origem externa de 110 *km* para o condutor André.

Analogamente, recorreu-se a ilustrações gráficas para retirar mais conclusões sobre a confrontação da mobilidade com a autonomia semanal disponível.

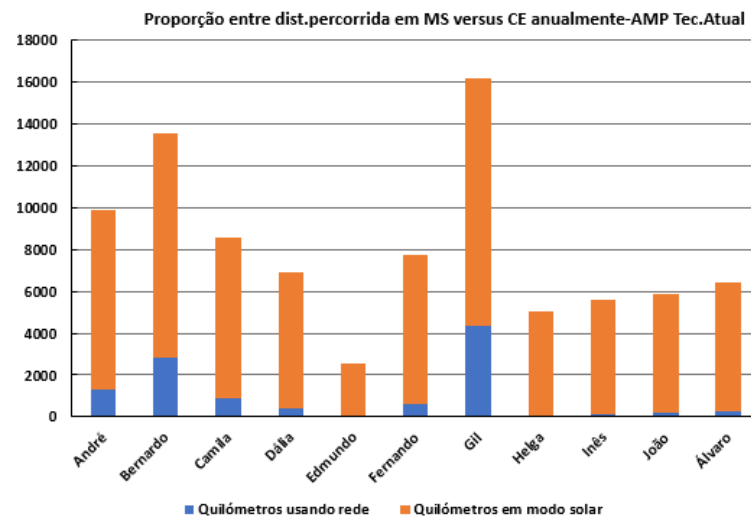


Figura 4.8: Distância percorrida em Modo Solar e em Carregamento Externo para a AMP com a Tecnologia Atual.

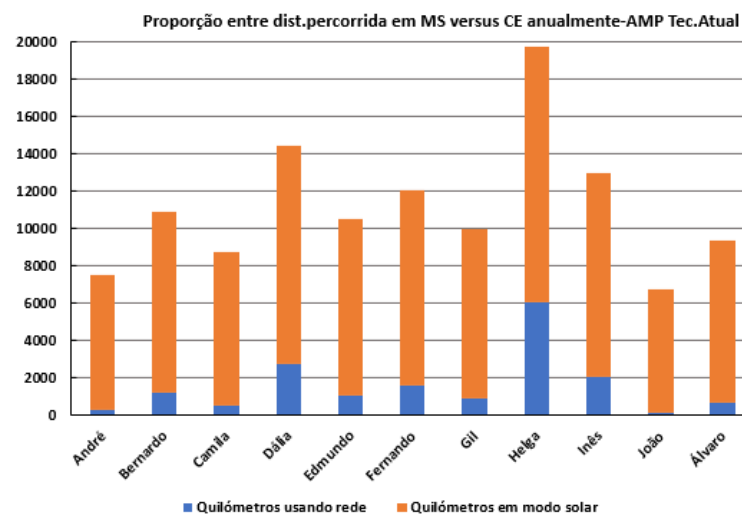


Figura 4.9: Distância percorrida em Modo Solar e em Carregamento Externo para a AML com a Tecnologia Atual.

A inferência mais evidente que pode ser feita após a observação dos 2 gráficos anteriores, é elevada proporção de distância percorrida em modo solar, quando comparada com a distância com recurso a carregamento externo. Contudo, os condutores desta análise fazem todos menos de 20000 *km* anuais.

O Gil do Porto, o condutor que realiza mais quilómetros semanalmente, e cerca de 2 vezes mais que a média do perfil de condutores exposto, percorre uma distância total anual de 16100 *km*, onde cerca de 70 % é de origem solar. No entanto, apenas passará 36% das semanas sem necessidade de carregamento. Já a Helga de Lisboa, desloca-se um total de 19700 *km*, 1.8 vezes

mais do que a média do perfil local, e no entanto, realiza perto de 70% da distância mencionada em modo solar. Porém, passará apenas 27% do ano sem carregar o seu automóvel.

O condutor Álvaro, que realiza a distância média em concordância com a análise diária e consequentemente, os dados do INE, com a particularidade de ser analisado do ponto de vista semanal, percorre cerca 93 a 96% dos quilómetros com recurso a energia solar, isto para a AML e AMP, respetivamente. Isto corresponderá a 8700 km e 6100 km. Assim sendo, são mais 200 km anuais do que o condutor MED no caso da AML e sensivelmente o mesmo para a AMP. Estas inferências são todas para a cenário tecnológico atual.

O valor de distância total anual do condutor Álvaro, é, praticamente, a mesma do condutor MED da análise diária. Existe uma diferença, uma vez que na análise semanal considerou-se 52 semanas representativas de 1 ano, que corresponde a 364 valores (52×7) resultantes, enquanto que na perspetiva diária temos 365. Desta forma, estamos perante uma melhoria de 3%. Isto pode justificar-se pelo mencionado, e por estarmos perante uma análise semanal que é menos precisa, por ser mais espaçada temporalmente que a análise diária, levando a resultados, tendenciosamente, mais otimistas.

Analogamente ao procedimento da abordagem anterior, efetuaram-se novas interpretações gráficas dos 2 parâmetros percentuais de análise.

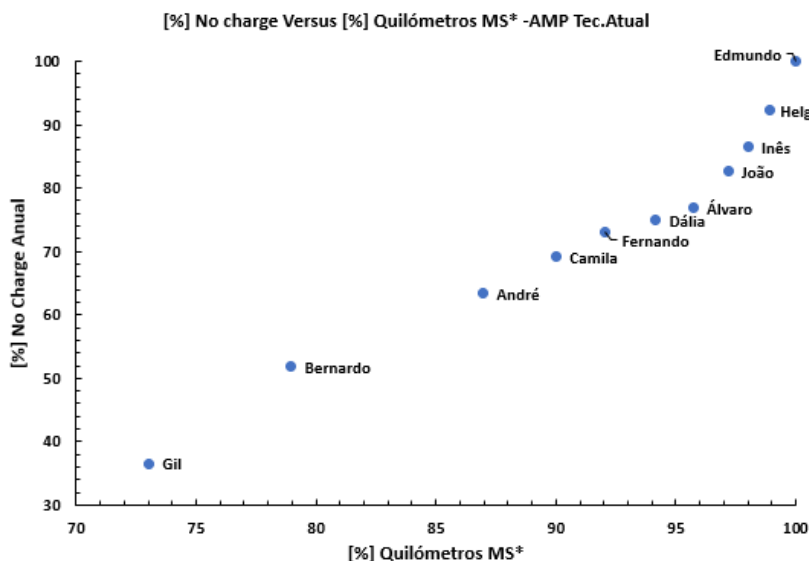


Figura 4.10: Distância percorrida em Modo Solar e em Carregamento Externo para a AML com a Tecnologia Atual.

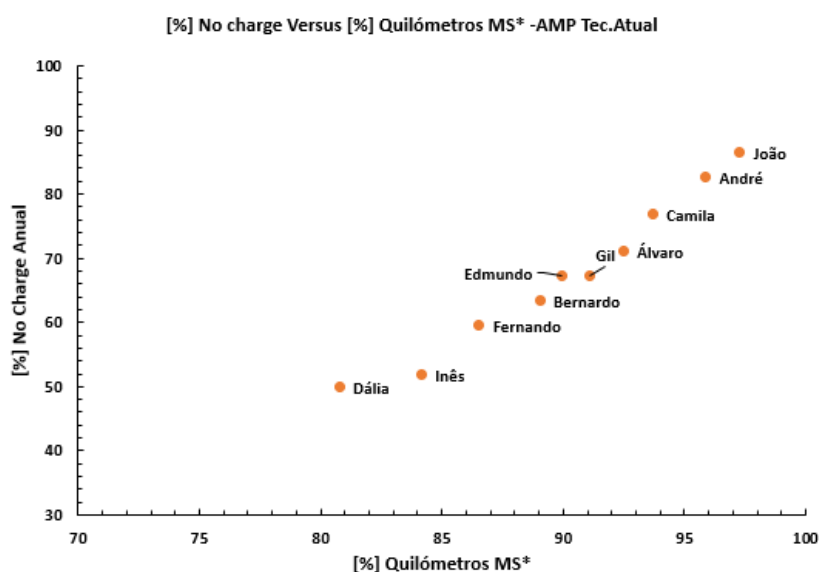


Figura 4.11: Distância percorrida em Modo Solar e em Carregamento Externo para a AML com a Tecnologia Atual.

Tendo em consideração o perfil de condutores desta abordagem, os fatores *No charge* serão superiores a 35% e os Quilómetros MS* a 70%, isto porque, a distância total percorrida anualmente é inferior, quando comparada com os condutores da abordagem anterior.

O Edmundo do Porto percorre apenas 2550 *km* anuais. Isto permite uma autonomia total de origem solar, não havendo necessidade de carregamento externo. O João desloca-se anualmente pouco mais do dobro, realizando anualmente 5900 *km*. Isto implica que a distância percorrida é predominantemente de origem solar (97%), porém, necessitará de carregar o seu veículo 20 % dos dias do ano.

Contrariamente à abordagem anterior, não existe um comportamento linear notório. Isto poderá ser explicado pelos critérios originários dos perfis de condutores. Na análise diária, optou-se por uma distribuição uniforme em função do número de trajetos escolhidos aleatoriamente. Na semanal, a escolha teve por base condutores-tipo, sendo atribuídos trajetos em função da ocupação, ou do quotidiano. As diferenças também poderão ser explicadas pelo número de dados existentes em cada análise.

4.3 Disponibilidade de carregamento

A dependência de carregamento é uma realidade para os veículos elétricos, sendo também para uma boa parte dos condutores analisados anteriormente, possuidores do hipotético e formalizado veículo solar. Por conseguinte, a análise da disponibilidade de carregamento pode ser importante para viabilizar a utilização do tipo de veículo em causa.

Recorrendo novamente à plataforma do INE, com dados referentes a 2011, a seguinte tabela expõe a distribuição de lugar de estacionamento/garagens para um valor total de cerca 3800000 alojamentos familiares.(17)

Tabela 4.21: Distribuição de estacionamento/garagens pelo nº total de alojamentos em Portugal Continental em 2011

	Estac. ou garagem	S/ estac. ou garagem
Nº	2057162	1761412
TOTAL	3818574	
Perc. %	53.9	46.1

A viabilidade de instalação de uma *Wallbox*, um dispositivo eletrónico que permite o carregamento de um veículo elétrico/solar, dependerá do tipo de garagem, individualizada ou de condomínio. Naturalmente, é necessário que o local de instalação cumpra uma série de pré-requisitos, e assim sendo, pressupõe-se que em cerca de 90% dos casos a instalação é possível nas garagens individualizadas. Porém, em garagens de condomínio, o processo é mais penoso e burocrático, podendo haver oposição dos restantes moradores. Assim sendo, estima-se que apenas 1 em cada 3 pessoas possa instalar este dispositivo num complexo de garagens partilhado. Como existe uma limitação nos dados disponibilizados pelo INE, isto porque não há distinção entre as garagens individualizadas e as garagens de condomínio, assumiu-se que a distribuição seria mais ao menos igualitária, isto é, metade dos moradores portugueses têm acesso a um tipo de garagem e a outra metade a outro. Desta forma, tendo em conta o número total de portugueses com acesso a estacionamento/garagem, os que têm garagem individual, representam 24% de probabilidade de instalação de uma *Wallbox*. Se estivermos perante garagens de condomínio esta probabilidade ronda os 9%.

Esta análise é relevante, por tudo aquilo que já foi mencionado. Os veículos solares no estado atual de tecnologia continuam dependentes de carregamento externo e como tal, é necessário ter em consideração a sua exequibilidade face à aquisição conveniente de equipamento.

Capítulo 5

Análise de Benefícios

Tendo por base alguns dos perfis de condutores analisados no capítulo 4, é possível fazer confrontações dos valores de distância anual percorrida pelos mesmos, com os valores de emissão de gases, ou até com os custos de deslocação associados a essa distância, consoante o tipo de energia em causa. Estas comparações, permitem discernir sobre possíveis benefícios que os veículos solares possam ter em relação às demais tecnologias vigentes, quer sejam de ordem ambiental ou económica.

Optou-se por uma abordagem mais generalizada para análise de benefícios ambientais, uma vez que é a mais comum e como tal muitos dos dados contemplam valores globais. Relativamente a análise de benefícios económicos, a abordagem teve uma incidência individual, do ponto de vista do utilizador/condutor, uma vez que seria mais fácil discernir sobre valores dessa natureza, tal como acontece com o procedimento na análise ambiental.

Caracterização do parque automóvel

Recorrendo à plataforma da ACAP, a Associação de Comércio Automóvel de Portugal foi possível reunir informação relativa ao número total de veículos em Portugal. Esta associação é responsável pelo estudo estatístico sobre o movimento automóvel, o movimento de máquinas agrícolas, máquinas industriais e tratores. Tendo acesso aos dados referentes a 2018(1), acedendo aos quadros nº25 e 59 do documento, e confrontando os mesmos, obteve-se a distribuição do parque automóvel em função da idade e tipo de energia utilizada. Os valores resultantes foram alcançados fruto da distribuição em percentagem dos automóveis em função do tipo de energia(quadro nº25) e a distribuição em função da idade dos mesmos(quadro nº59). Como não existe concordância total entre os quadros mencionados alguns valores foram estimados. A tabela resultante encontra-se expressa subsequentemente.

Tabela 5.1: Distribuição do parque automóvel português em função da idade e tipo de energia para o ano de 2018.

	IDADE								
	2017-2018	2016-2017	2015-2016	2014-2015	2013-2014	2007-2013	2003-2007	1998-2003	< 1998
NºAutomóveis	206014	206964	181159	157376	134474	963591	1050243	1110212	594840
Diesel	126730	134977	123269	112366	97518	682060	733168	821557	582515
Gasolina	71585	68011	54421	41705	34664	266052	305487	277553	186405
Elétricos	1457	837	730	157	270	967	1053	N/A	N/A
Outros	6243	3139	2739	3148	2023	14512	10534	11102	7767

A implementação gráfica dos dados da tabela anterior é conveniente para avaliar a distribuição do parque automóvel português. Para tal recorreu-se ao agrupamento dos valores relevantes em intervalos de 5 anos por forma a manter a coerência em relação aos restantes dados.

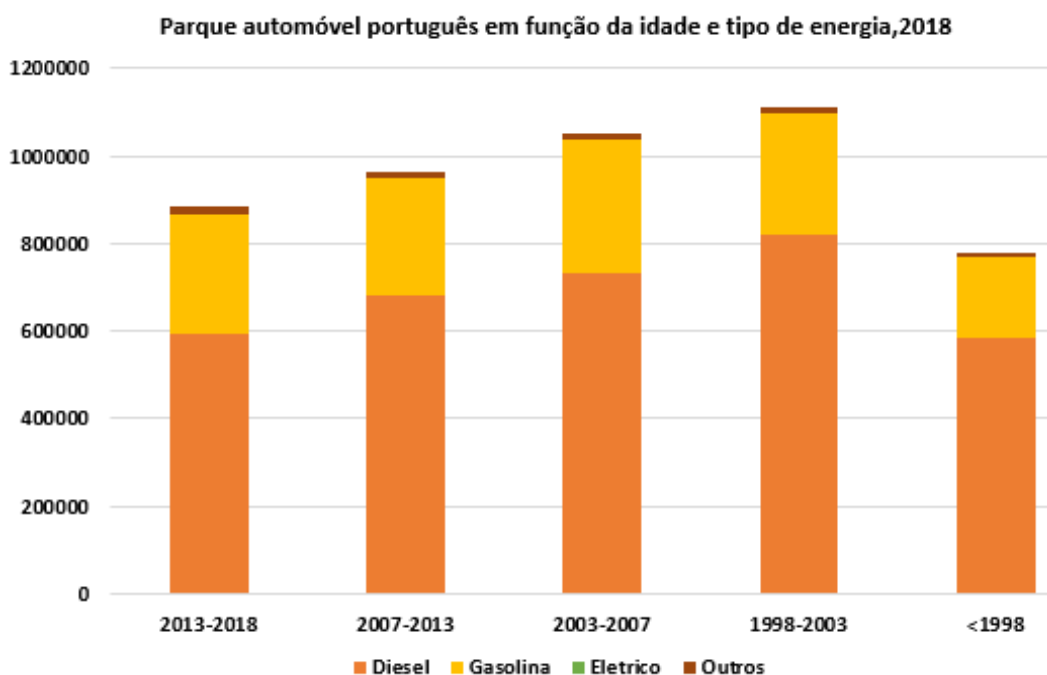


Figura 5.1: Distribuição do parque automóvel português em função da idade e tipo de energia.

Após observação da figura 5.1, constata-se que o parque automóvel português encontra-se envelhecido, havendo uma proeminência de veículos com 10 anos ou mais. Relativamente ao tipo de energia, destacam-se os veículos Diesel, claramente mais numerosos que os restantes. Por razões inversas, o nº de veículos elétricos são imperceptíveis quando comparados com os restantes tipos de automóveis.

Estes dados serão relevantes nos tópicos seguintes onde se analisarão os benefícios económicos e ambientais da tecnologia em estudo.

5.1 Benefícios Ambientais

Os veículos solares são menos poluentes comparativamente a qualquer outra tecnologia automotiva existente, uma vez que a obtenção de energia dos mesmos é de origem não-polvente. Esta afirmação é limitada pela autonomia potencial obtida pelos painéis, e sendo esta inferior à distância total percorrida, haverá a necessidade de carregamento externo. Se assumirmos que os veículos serão abastecidos recorrendo à rede eléctrica portuguesa, é praticamente garantido que a emissão total de GEE é inferior quando comparada com veículos eléctricos convencionais e veículos de combustão interna. As excepções poderão advir consoante a fonte de energia que alimenta os veículos em causa.

A Federação Europeia de Transportes e Ambiente realizou um estudo comparativo entre as emissões de dióxido de carbono (CO_2) de um veículo eléctrico(VE) e um veículo de combustão interna(VCI)(19). Concluíram que em média na UE, um veículo de combustão interna emite 3 vezes mais CO_2 que um VE. Isto contempla todo o processo, desde a sua fabricação até ao fim do ciclo de vida. Mesmo no pior cenário, onde as fontes renováveis de transformação energética rondam apenas entre 15 a 20% como é o caso da Polónia, as emissões são cerca de 30 % menores quando comparadas com veículo movido a gasóleo ou gasolina.

Portugal não foi contemplado neste estudo, no entanto, é possível inferir que a utilização de um veículo eléctrico será mais vantajosa que a média da UE, isto porque cerca de metade da energia eléctrica utilizada pelo país é proveniente de componentes renováveis. Perante o melhor cenário possível, onde a fabricação de bateria seria efetuada com recurso a energia "verde", para um carro fabricado na UE, e conduzido na Suécia(país com elevada percentagem de energias renováveis) as emissões de CO_2 poderão ser até 80% menores. Já se estivermos perante o pior cenário, isto é, as baterias fabricadas na China e o seu condutor residir na Polónia (o país apresenta um *mix* energético à base de carvão e gás natural) esses valores de emissões são 22 a 28 % menores consoante seja um VCI movido a gasóleo ou gasolina respetivamente.

Em suma, apesar do processo de fabricação de um VE ser mais poluente quando comparado com a de um VCI, ao longo do ciclo de vida o VE acabará por emitir menos dióxido de carbono quando comparado com os VCI.

Por forma a garantir uma visão mais precisa do impacto que um veículo solar possa ter a nível ambiental, elaborou-se um estudo com valores numéricos relevantes. O mesmo teve por base a tabela de emissão *standard* imposta pela UE através da criação de normais específicas, denominadas EURO, onde existiu ajustes nas mesmas ao longo dos anos, tornando-as gradativamente mais exigentes.(10) A figura 5.2 expressa isso mesmo. O objetivo primordial das normas é reduzir a emissão de poluentes.

Stage	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		g/km					#/km
Compression Ignition (Diesel)							
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	–	0.97 (1.13)	–	0.14 (0.18)	–
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	–	0.7	–	0.08	–
Euro 2, DI	1996.01*	1.0	–	0.9	–	0.10	–
Euro 3	2000.01	0.64	–	0.56	0.50	0.05	–
Euro 4	2005.01	0.50	–	0.30	0.25	0.025	–
Euro 5a	2009.09 ^b	0.50	–	0.23	0.18	0.005 ^f	–
Euro 5b	2011.09 ^c	0.50	–	0.23	0.18	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
Euro 6	2014.09	0.50	–	0.17	0.08	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
Positive Ignition (Gasoline)							
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	–	0.97 (1.13)	–	–	–
Euro 2	1996.01	2.2	–	0.5	–	–	–
Euro 3	2000.01	2.30	0.20	–	0.15	–	–
Euro 4	2005.01	1.0	0.10	–	0.08	–	–
Euro 5	2009.09 ^b	1.0	0.10 ^d	–	0.06	0.005 ^{e,f}	–
Euro 6	2014.09	1.0	0.10 ^d	–	0.06	0.005 ^{e,f}	6.0×10 ¹¹ ^g

* At the Euro 1..4 stages, passenger vehicles > 2,500 kg were type approved as Category N₁ vehicles
† Values in brackets are conformity of production (COP) limits
a. until 1999.09.30 (after that date DI engines must meet the IDI limits)
b. 2011.01 for all models
c. 2013.01 for all models
d. and NMHC = 0.068 g/km
e. applicable only to vehicles using DI engines
f. 0.0045 g/km using the PMP measurement procedure
g. 6.0×10¹² 1/km within first three years from Euro 6 effective dates

Figura 5.2: Tabela com a legislação imposta pela UE com respeito às normas de emissão de gases poluentes em g/km para veículos de passageiros.(9)

Uma boa aproximação para determinar o real impacto da tecnologia automóvel em estudo, seria estimar o limite de emissões de gases totais anuais para uma distância padrão pré-estabelecida. Esta determinação encontra-se expressa nas tabelas 5.2 a 5.5, em função da distância percorrida pelo condutor I (abordado no capítulo 4) das duas AMs, e do tipo de veículo. Com recurso à distribuição do parque automóvel português da tabela 5.1 e com as datas das normas em vigor, foi possível aferir quantos ligeiros de passageiros existem por cada norma EURO, e assim, proceder ao cálculo total de emissões que esse grupo apresenta.

A análise de benefícios, propriamente dita, é conseguida com o pressuposto que consiste na substituição de um grupo de condutores, com veículos de passageiros, que se enquadrem temporalmente com uma dada norma EURO. Posto isto, os veículos em causa são substituídos por veículos solares com tecnologia atual. Relativamente à distância predeterminada, assumiu-se que os condutores portugueses percorrem, em média, 2520 ou 2080 km, consoante falemos do condutor I do Porto ou de Lisboa, respetivamente. A razão para esta escolha justifica-se pela capacidade, aproximadamente, autónoma de deslocação, isto é, a percentagem de quilómetros em modo solar rondam entre 99.1 a 99.6 %. Desta forma, os quilómetros recorrendo a carregamento externo serão 23 e 9 km, não tendo representatividade em relação ao valor total de distância percorrido. Constata-se assim, que as emissões GEE são desprezáveis.

Apesar dos valores de distância utilizados não serem representativos da distância média percorrida pelos automobilistas portugueses, o processo de cálculo é simplificado. Os valores de

emissões de gases totais são obtidos recorrendo à seguinte equação:

$$Emiss.Tot_{GEE} = GEE \cdot Num_{cond.EURO} \cdot Dist_{cond.I} \quad (5.1)$$

onde a $Emiss.Tot_{GEE}$ representa a emissão total de um determinado GEE em g, GEE representa o limite de emissão imposto por uma dada norma em g/km, $Num_{cond.Euro}$ refere-se ao número de condutores que se enquadram temporalmente com uma dada norma EURO e $Dist_{cond.I}$, é a distância estabelecida, percorrida pelo condutor I, em km.

No cenário português, mesmo que a substituição de uma dada frota de veículos fosse efetivada recorrendo a veículos elétricos não solares, a redução seria significativa, em concordância com o que foi mencionado inicialmente.

Tabela 5.2: Emissões de gases totais anuais, distância do Condutor I do Porto, veículo Diesel.

Normas (Anos em vigor)	Distância percorrida:2520 km				
	Emissão de gases Totais Anuais (ton)				
	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	pm
EURO 1(1993-1996)	3993	-	1424	-	206
EURO 2(1996-2000)	1415	-	1274	-	142
EURO 3(2000-2005)	1003	-	878	784	78
EURO 4(2005-2009)	713	-	428	357	36
EURO 5a(2009-2011)	344	-	158	124	3
EURO 5b(2011-2014)	467	-	215	168	5
EURO 6(2014-2018)	627	-	213	100	6

Por constatação da tabela acima, e de acordo com os pressupostos supramencionados, num cenário onde todos os veículos que foram fabricados com a norma "EURO 1" em vigor fossem substituídos por veículos solares, as emissões de CO totais anuais poderão ser reduzidas em até 3993 toneladas. Já as emissões de HC + NO_x apresentariam uma redução de 1424 toneladas, e as partículas motoras (pm) de 206 ton. Como seria expectável estes serão os valores mais significativos, quer seja pelo facto de ser a norma mais antiga, e consequentemente menos rigorosa, e como tal os automóveis fabricados nesta época emitem mais emissões. A outra razão surge com o crescente envelhecimento do parque automóvel português como pode ser observado por intermédio da figura 5.1, onde se denota um maior número de veículos mais antigos.

Tabela 5.3: Emissões de gases totais anuais, distância do Condutor I de Lisboa, veículo Diesel.

Normas (Anos em vigor)	Distância percorrida:2080 km				
	Emissão de gases Totais Anuais (ton)				
	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	pm
EURO 1(1993-1996)	3296	-	1175	-	170
EURO 2(1996-2000)	1168	-	1051	-	117
EURO 3(2000-2005)	828	-	724	647	65
EURO 4(2005-2009)	589	-	353	294	29
EURO 5a(2009-2011)	284	-	131	102	3
EURO 5b(2011-2014)	385	-	177	139	4
EURO 6(2014-2018)	517	-	176	83	5

Os valores de emissão de CO , $HC + NO_x$, NO_x e pm são ligeiramente inferiores quando comparados com os valores obtidos para o mesmo condutor, isto porque, o condutor I em Lisboa realiza menos quilómetros. Logicamente, quantos mais quilómetros anuais forem realizados maior serão as emissões, portanto maior será o potencial de redução das mesmas, se substituirmos os veículos em causa por elétricos/veículos solares.

Tabela 5.4: Emissões de gases totais anuais, distância do Condutor I do Porto, veículo a Gasolina.

	Distância percorrida: 2520 km				
	Emissão de gases Totais Anuais (ton)				
Normas (Anos em vigor)	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	pm
EURO 1(1993-1996)	1278	-	456	-	-
EURO 2(1996-2000)	1029	-	234	-	-
EURO 3(2000-2005)	1352	-	-	88	-
EURO 4(2005-2009)	576	-	-	46	-
EURO 5(2009-2014)	624	-	-	37	3
EURO 6(2014-2015)	594	-	-	36	3

Tabela 5.5: Emissões de gases totais anuais, distância do Condutor I de Lisboa, veículo a gasolina.

	Distância percorrida: 2080 km				
	Emissão de gases Totais Anuais (ton)				
Normas (Anos em vigor)	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	pm
EURO 1(1993-1996)	1055	-	376	-	-
EURO 2(1996-2000)	849	-	193	-	-
EURO 3(2000-2005)	1116	-	-	73	-
EURO 4(2005-2009)	476	-	-	38	-
EURO 5(2009-2014)	515	-	-	31	3
EURO 6(2014-2015)	490	-	-	29	11

Relativamente à gasolina, os principais poluentes são praticamente os mesmos, no entanto as emissões são bastante inferiores, fruto do reduzido número de veículos deste tipo. Pela mesma razão, as emissões serão menores na área metropolitana de Lisboa, isto é, o condutor I percorre menos quilómetros anualmente. Assim sendo, existe um potencial de redução mas bastante inferior quando comparado com os veículos a diesel. A maior redução de CO ocorreria se substituíssemos os automóveis do grupo EURO 3, por VE's ou veículos solares.

Outra forma de análise do potencial benefício ambiental da tecnologia automotiva em causa, seria recorrer à distribuição média de emissões de CO_2 do parque automóvel português ao longo dos anos. A figura subsequente ilustra essa mesma distribuição, cujas unidades são em $[g/km]$. Naturalmente que as emissões médias de CO_2 tiveram uma tendência decrescente, porém ocorreu uma inversão, havendo um comportamento crescente da curva de distribuição a partir do ano de 2017.

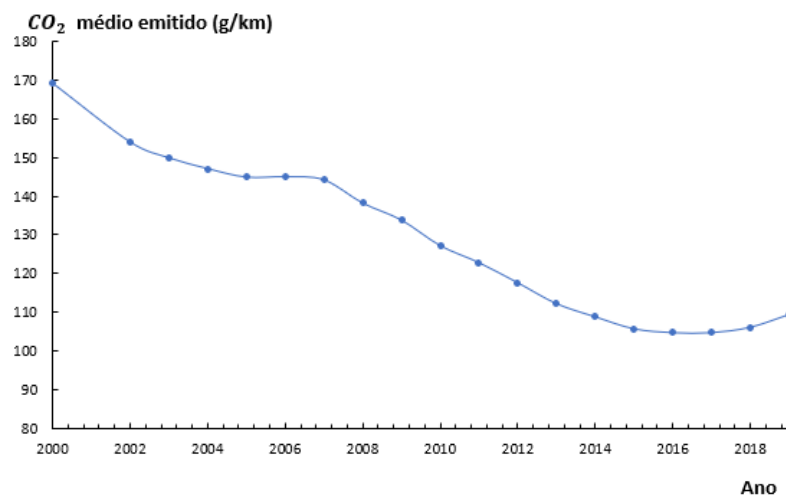


Figura 5.3: Distribuição média das emissões de CO_2 , por quilómetro, para veículos de passageiros em Portugal.(11)

A emissão total de CO_2 foi obtida com recurso a uma tabela com o número total de automóveis ligeiros de passageiros em função do ano de matrícula e os dados contidos na figura 5.2. Os mesmos foram multiplicados pela distância anual percorrida pelo condutor I no Porto (2520 km), assim como, os dados da tabela referida pertencente à plataforma PORDATA(28). Desta forma, obteve-se o gráfico da figura 5.4 que contém a disposição das emissões totais de CO_2 em função do ano de matrícula do número total de veículos de passageiros.

A informação obtida pode ser limitante uma vez que muitos dos veículos matriculados já foram abatidos, e como tal, esses valores tornam-se mais significativos proporcionalmente à antiguidade do automóvel em causa. Posto isto, a análise deve ser feita no ano de matrícula observado. Exemplificando, no ano 2000 o potencial de redução do total de emissões de dióxido de carbono para os veículos de passageiros matriculados nesse ano foi de $195 \cdot 10^3 ton$.

Apesar da validade da informação ser apenas aplicável no passado, tal não invalida a retirada de conclusões relevantes ao impacto positivo na vertente ambiental. Assim sendo, a distribuição representada apresenta mais oscilações. Todavia o comportamento decrescente com tendência crescente no final mantém-se.

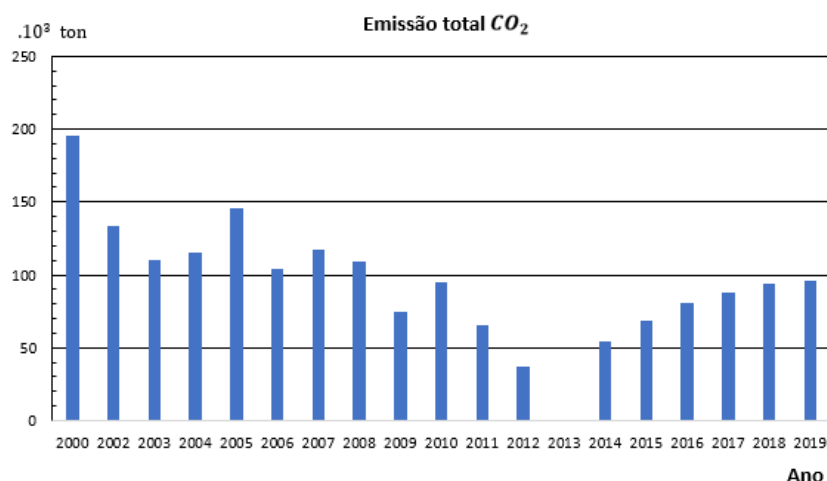


Figura 5.4: **Emissão total de CO₂ para veículos de passageiros em Portugal, condutor I do Porto.**

A conclusão é equivalente à análise anterior, quanto mais antigo for o grupo de automóveis em questão, maior será o potencial de redução de emissões. Isto é justificado, pelo envelhecimento do parque automóvel português e pelas normas menos exigentes. No entanto, para automóveis mais recentes existiu um aumento das mesmas, como tal é necessário procurar alternativas viáveis para que estes valores continuem em queda. Os veículos solares poderão constituir uma boa solução de curto/médio prazo.

5.2 Benefícios económicos

Analogamente ao procedimento adotado na sub-capítulo anterior, é importante fazer o comparativo em termos de benefícios económicos entre veículos elétricos (VEs) e veículos de combustão interna (VCIs). Com a atual conjuntura das políticas ambientais europeias, a mobilidade elétrica tornou-se uma realidade praticamente incontornável no mercado automóvel.

Tirando os países nórdicos, Portugal é o país europeu com maior crescimento na venda de VEs. Existem inúmeras vantagens para esta tecnologia automotiva, porém em termos financeiros existe alguma incerteza devido ao seu elevado custo inicial e adoção/implementação recente.

Para compensar a diferença de custo inicial entre um VE e um VCI, o estado português disponibilizou alguns benefícios para incentivar a mobilidade elétrica. O fundo ambiental teve uma verba orçamental de 3 milhões de euros que distribuiu a título individual e coletivo. Um comprador individual pode receber até 3000€ de incentivo. Já uma empresa poderá receber até 4 incentivos de 2250€ cada. Existem outros benefícios de natureza fiscal como a dedução do valor do IVA a nível empresarial, isenção do ISV, isenção do IUC e redução ou isenção de custos de estacionamento em algumas cidades.⁽⁷⁾

Apesar do VE ter um custo inicial mais elevado, existe a possibilidade de haver retorno do investimento, e recuperar essa diferença ao fim de algum tempo, exceto se se percorrerem poucos quilómetros. O custo de energia de deslocação é consideravelmente inferior nos veículos elétricos,

assim como o de manutenção, fruto da maior simplicidade na transformação e transmissão de potência. Estes serão 2 fatores a ter em consideração no retorno de investimento. Contudo, o custo associado à substituição de baterias deve ser contemplado uma vez que pode ser bastante significativo. No entanto, estas apresentam normalmente garantias de 8 anos ou 160000 km para balancear esta desvantagem.(7)

Esta situação é semelhante aos VCI movidos a diesel e gasolina. A manutenção dos veículos diesel é normalmente superior aos veículos a gasolina assim como o custo inicial. Porém, o custo de combustível é inferior e essa diferença pode ser suficientemente compensatória, havendo a possibilidade de recuperar o montante investido.

Estas ilações serão válidas para os veículos solares, uma vez que se tratam de VEs com a adição de painéis fotovoltaicos.

Por forma a garantir maior percepção destas vantagens elaborou-se um estudo numérico, subdividido em duas vertentes. A primeira vertente incidiu na determinação do custo de deslocação anual, consoante os diferentes perfis de condutores. A segunda vertente focou-se num estudo comparativo entre o mesmo modelo de automóvel, com e sem opção solar, tentando determinar ao fim de quanto tempo existirá o retorno de investimento de aquisição do painel, tendo em consideração um determinado custo para o mesmo.

A tabela subsequente expõe os parâmetros relevantes para a determinação do custo anual de energia(CAE), sendo eles o consumo, o custo do combustível e a distância percorrida. O valor do custo anual é obtido recorrendo à seguinte multiplicação:

$$CAE = Dist_{percorrida} \cdot Cons \cdot Custo_{comb}. \quad (5.2)$$

Esta equação é válida tanto para os VCI como para os VE, sendo apenas necessário fazer ajustes por conta das unidades.

As abreviações expressas na tabela 5.6, TS* e TB* são referentes às tarifas simples e tarifas bi-horárias. Enquanto consumidores de energia elétrica, temos a possibilidade de escolher a forma como a eletricidade é cobrada em função do horário de consumo. A escolha da tarifa determinará se o preço de consumo de eletricidade será o mesmo em qualquer horário ou se há horários mais económicos que outros.

Tabela 5.6: Parâmetros relevantes para determinação do custo de anual de energia dos diversos condutores.

Benefícios económicos	Gasóleo	Gasolina	Elétrico TS*	Elétrico TB*	V.Solar tec.Atual TS*	V.Solar tec.Futura TS*	V.Solar tec.Atual TB*	V.Solar TB* tec.Futura
Consumo	4.6 [l/100km]	5.1 [l/100km]	123 [wh/km]		83 [wh/km]	70 [wh/km]	83 [wh/km]	70 [wh/km]
Custo Combustível	1.504 [€/l]	1.750 [€/l]	0.1355 [€/kwh]	0.0867 [€/kwh]	0.1355 [€/kwh]		0.0867 [€/kwh]	
Distância percorrida Anualmente								
Conductor MED Conductor T Conductor H	Porto				Lisboa			
	6430[km]				9410[km]			
	20951[km]				18725[km]			
	30624 [km]				30368 [km]			

Assim sendo, as tabela 5.7 e 5.8 contêm os valores finais para o custo anual de energia, tendo em consideração os parâmetros da tabela 5.6 e a equação 5.2.

Como seria expectável, os valores obtidos para os custos dos VCIs são cerca de 4 a 5 vezes superior quando comparados com os custos dos VEs com carregamento por tarifa simples(TS*), independentemente do número de quilómetros percorridos. Naturalmente, que a diferença será maior se o carregamento do VE for efetuado por tarifa bi-horária(TB*), desde que seja no horário onde o custo de eletricidade é inferior, das 22h às 8h.

Os veículos solares também terão custos de deslocação associados uma vez que uma percentagem dos quilómetros percorridos são feitos com recurso a carregamento externo, em conformidade com o que foi discutido no capítulo anterior. Se porventura fizermos o comparativo entre VEs e veículos solares é perceptível que o custos destes últimos serão inferiores, numa proporção idêntica à mencionada. Porém, poderá não ser assim tão evidente se compararmos com o carregamento externo TB*. As figuras 5.6 a 5.11 ilustram melhor esta realidade por intermédio de gráficos de barras.

Tabela 5.7: Custo anual de energia de deslocação dos diversos perfis de condutores da AMP.

Benefícios económicos	Gasóleo	Gasolina	Elétrico TS*	Elétrico TB*	V.Solar tec.Atual TS*	V.Solar tec.Futura TS*	V.Solar tec.Atual TB*	V.Solar TB* tec.Futura
Condutor MED	444.85	573.88	107.16	68.57	5.51	2.94	3.53	1.88
Condutor T	1449.47	1869.88	349.18	223.42	91.52	61.20	58.56	39.16
Condutor H	2118.69	2733.19	510.39	326.58	192.84	133.87	123.39	85.66

Tabela 5.8: Custo anual de energia de deslocação dos diversos perfis de condutores da AML.

Benefícios económicos	Gasóleo	Gasolina	Elétrico TS*	Elétrico TB*	V.Solar tec.Atual TS*	V.Solar tec.Futura TS*	V.Solar tec.Atual TB*	V.Solar TB* tec.Futura
Condutor MED	651.02	839.84	156.83	100.35	11.12	8.39	7.12	5.37
Condutor T	1295.47	1671.21	312.08	199.68	63.51	51.15	40.64	32.73
Condutor H	2100.98	2710.34	506.13	323.85	179.04	147.01	114.56	94.06

A figura 5.5 evidencia os diversos consumos em função dos tipos de veículos em causa. Houve a necessidade de converter os consumos dos veículos a diesel e gasolina de $l/100km$ para wh/km para assim garantir uniformidade nas unidades utilizadas. Por observação do gráfico, é possível inferir que os VCIs consomem consideravelmente mais que o VE, e mais ainda que o veículo solar das duas tecnologias abordadas. Procurou-se fazer um comparativo entre carros de gamas idênticas de perfil "económico". Assim sendo, o consumo do veículo a gasóleo teve por base o *Citroen C1*(14), o do veículo a gasolina, o *Ford Fiesta 1.0 Ecoboost* e o veículo elétrico, o *Renault ZOE*. Já o consumo do veículo solar foi o mesmo que o utilizado na secção 4, que resulta de uma combinação das melhores características disponibilizadas no mercado para o cenário tecnológico atual, e algumas previsões para o cenário tecnológico futuro.

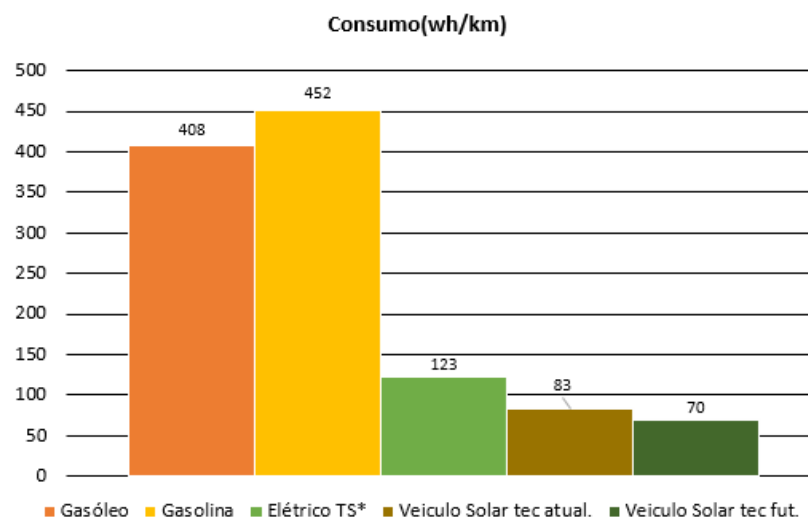


Figura 5.5: Consumo de energia em função do tipo de veículo em causa.

Como foi ilustrado no gráfico da figura anterior, os consumos serão mais elevados para os VCIs, e como tal o custo anual de energia (CAE) seguirá a mesma tendência. Isto é reforçado, também pelo custo de combustível que é de igual forma superior nos VCIs, justificando as diferenças notórias nos gráficos posteriores. Tal como já foi mencionado, a ordem de grandeza em relação ao CAE dos VCIs é de 4 a 5 vezes superior quando comparado com os VEs. Esta relação mantém-se praticamente constante, independentemente do condutor em análise, isto é, quer seja o condutor MED que realiza entre 6000 a 9000 *km* anuais ou do condutor H que realiza cerca de 30000 *km* nas duas cidades. Porém esta relação já não é válida quando comparamos os veículos solares com os VCIs. Na verdade, o CAE pode ser entre 100 a 200 vezes inferior para este caso, podendo variar de acordo com os valores de quilómetros em modo solar (função da radiação solar incidente, e dos quilómetros percorridos diariamente) determinados na secção 4 e consequentemente, dos quilómetros recorrendo a carregamento externo.

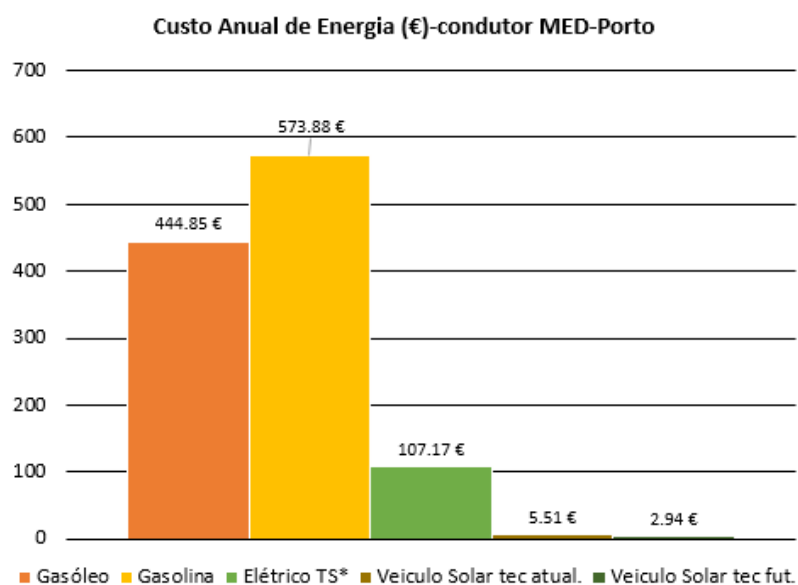


Figura 5.6: Custo anual de energia para o condutor perfil MED do Porto.

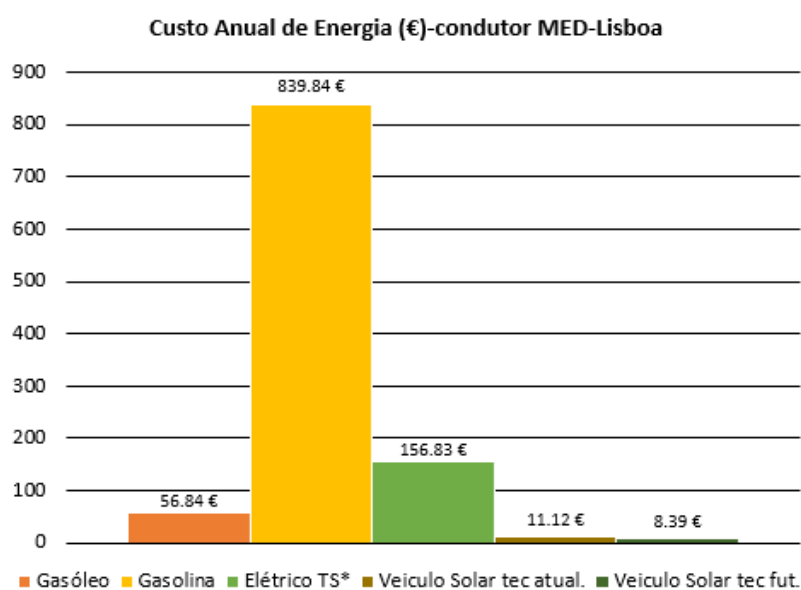


Figura 5.7: Custo anual de energia para o condutor perfil MED de Lisboa.

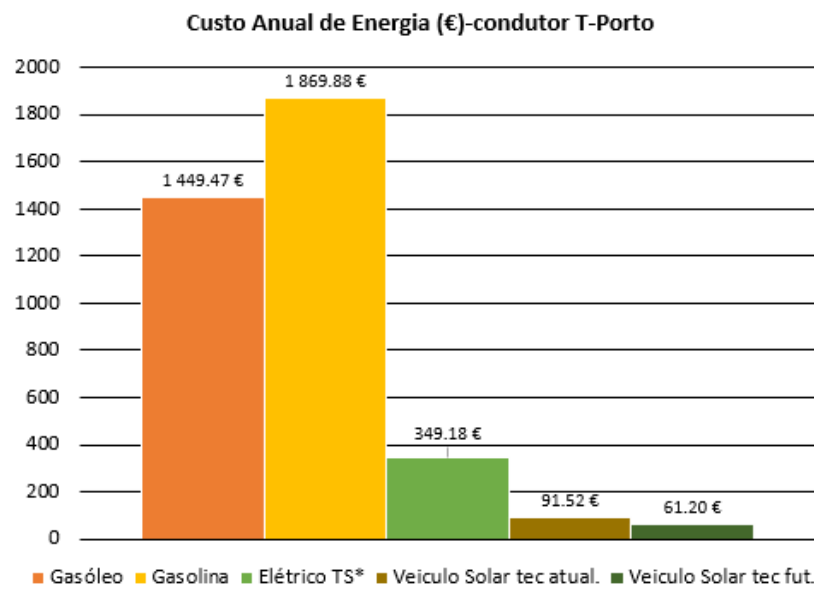


Figura 5.8: Custo anual de energia para o condutor perfil T do Porto.

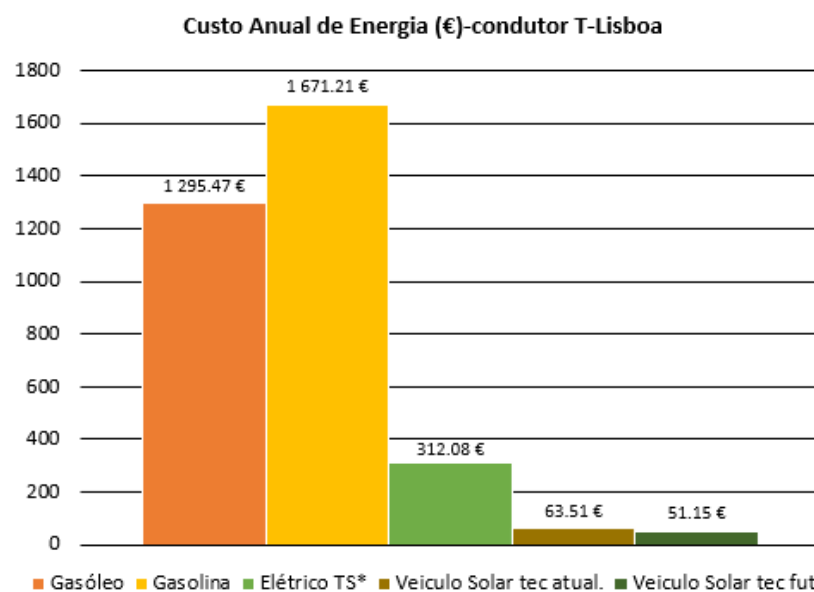


Figura 5.9: Custo anual de energia para o condutor perfil T de Lisboa.

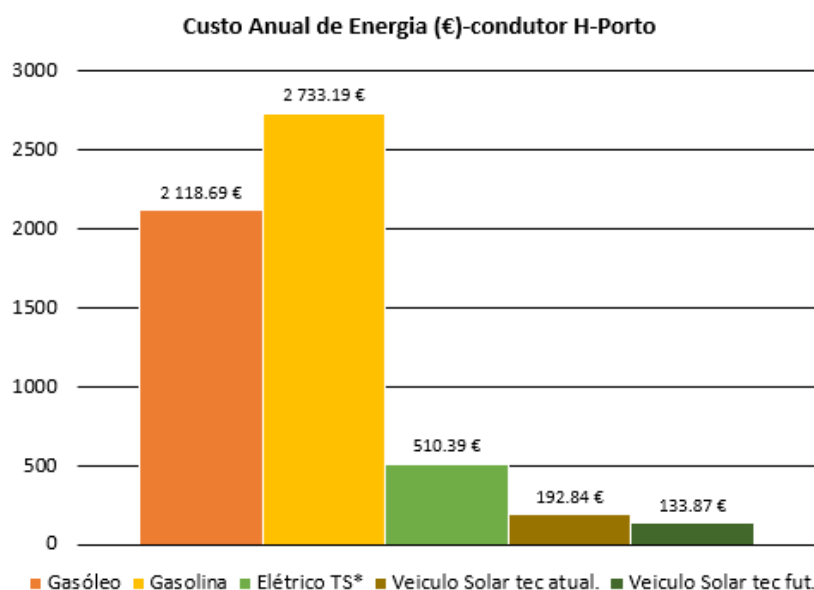


Figura 5.10: Custo anual de energia para o condutor perfil H do Porto.

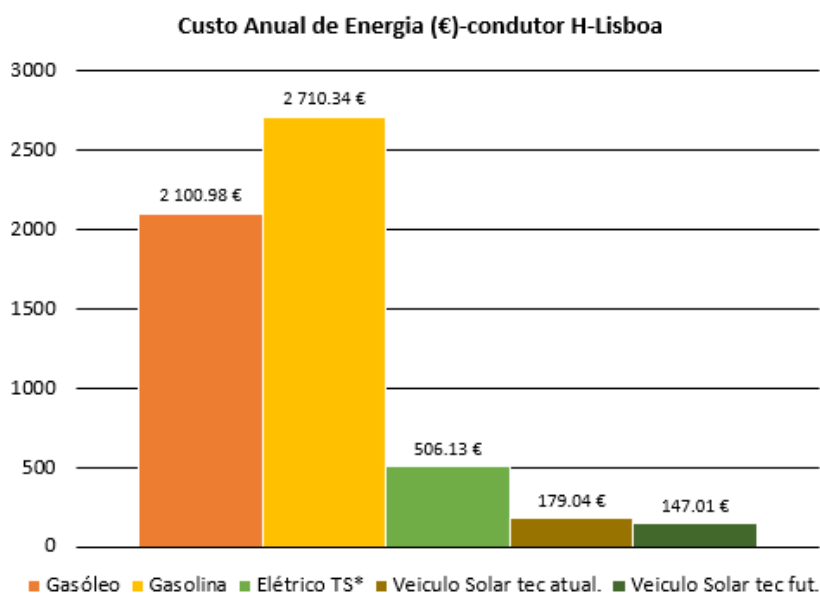


Figura 5.11: Custo anual de energia para o condutor perfil H de Lisboa.

Em suma, os veículos solares constituem uma excelente alternativa quando comparados com os VCIs, isto porque em termos de custos anuais de energia estes serão ainda inferiores aos VEs. Assim sendo, se substituirmos um VCI por um veículo solar, a troca pode ser bastante compensatória em termos monetários, tanto mais quanto mais quilómetros forem percorridos (para compensar a diferença de custo inicial).

A segunda vertente de análise de benefícios incidiu num estudo comparativo entre o mesmo modelo de automóvel, com e sem a opção de teto solar(ts*), tal como já foi referido inicialmente. Os automóveis em análise foram o *Hyundai Sonata* e o *Toyota Prius*, veículos mencionados no capítulo 3.2. Em relação ao *Toyota* fez-se uma confrontação com 2 painéis diferentes, o de 180W, utilizadas no modelo de 3ª geração, e o promissor painel de 860W desenvolvido em parceria com a *Sharp*.(2)(29)

Os valores da tabela subsequente, foram obtidos considerando uma autonomia diária constante e, naturalmente, isso acarretará erros. No entanto, poderão constituir uma boa estimativa. Os valores utilizados foram: 4.5 km diários para o *Sonata*, 3.8 e 35 km diários, para o *Prius* com painel de 180W e 860W, respetivamente. Assim sendo, para os veículos híbridos com ts*, subtraiu-se o valor de ganho de autonomia solar à distância total percorrida, uma vez que a autonomia adquirida pelos painéis não tem qualquer custo associado. Exemplificando, no caso do *Hyundai Sonata c/ ts**, a distância percorrida relevante será: $20951 - 4.5 \times 365 = 19308.5\text{km}$. O custo do painel de 860W foi estimado em 2500€, uma vez que as informações sobre o mesmo são escassas. O painel de 180W custou 2100€. O teto solar do *Sonata* custou 930€.

Poderão existir algumas limitações na abordagem em causa, tendo em conta que estamos perante veículos híbridos e a energia transformada pelos painéis só poderá ser utilizada pelo motor eléctrico. No caso do painel de *Sharp* que tem uma eficiência muito elevada, existem incertezas quanto à percepção de como essa energia poderia ser utilizada por um sistema híbrido.

Tabela 5.9: Cálculo do retorno do investimento para o mesmo modelo de PHEV com e sem a opção de teto solar.

veículo	painéis 180 W		painéis 860 W	
	Hyundai Sonata s/ ts*	Hyundai Sonata c/ ts*	Toyota Prius s/ ts*	Toyota Prius c/ ts*
Preço inicial €	30000	30930	44300	46400
Dist percorrida- Condutor T km	20951	19308.5	20951	19564
Consumo l/100km	4.61		3.3	
Custo comb. €/l		1.75		
Custo Anual de Energia €	1690.22	1557.71	1209.92	1129.82
Poupança Anual €		132.51	80.10	737.76
Retorno Investimento anos		7.02	26.22	3.39

Por observação da tabela 5.9, é perceptível que o *Hyundai* consome consideravelmente mais que o *Toyota Prius*. A discrepância surge porque se trata de um veículo de maiores dimensões, e consequentemente maior peso, o que se traduzirá num consumo superior. Esta constatação é relevante para justificar a diferença notória de retorno de investimento, entre o painel acoplado no *Hyundai Sonata* e o painel de 180W vinculado ao *Toyota Prius*. Para além do painel ser metade do preço, a contribuição para a redução da distância percorrida(a analogia é a mesma que a utilizada anteriormente, a energia transformada pelas células fotovoltaicas permitirá percorrer quilómetros sem qualquer custo, e por isso não são contabilizados.) é mais significativa no caso do *Hyundai*. Logicamente, o custo para percorrer quilómetros é superior e como tal, e por tudo aquilo que foi mencionado o retorno surge ao fim de 7 anos.

Desta forma, a compra de um painel de 180W para um *Toyota Prius* não será compensatória em termos económicos, uma vez que não haverá retorno no tempo de vida útil do veículo. Contudo,

se estivermos perante o painel de 860W há uma mudança de cenário, havendo um retorno ao fim de cerca de 3 anos. Isto acontece porque os quilómetros a custo zero poderão ascender até 12700 km, e como tal o custo anual de energia decresce significativamente, e poupança anual aumenta proporcionalmente. Estes valores poderiam ser ainda mais expressivos, se estivéssemos perante um veículo de maior consumo, como é o caso do *Hyundai Sonata*, ou se o painel tiver um custo inferior ao estipulado.

Uma vez mais, torna-se evidente que a tecnologia automotiva em estudo pode ser muito vantajosa em termos económicos, mesmo quando utilizada em automóveis híbridos enquanto equipamento extra.

Adicionalmente, procedeu-se a uma análise comparativa entre veículos elétricos e veículos solares. Tal como aconteceu anteriormente, comparou-se um dado modelo de uma marca, com e sem opção solar. A escolha recaiu sobre 2 veículos, abordados no capítulo 2, o *Hyundai IONIQ 5* e o *Aptera 3*.

O custo do teto solar do *IONIQ 5* deverá ser similar ao do *Sonata*, isto porque, se implementou o mesmo sistema de conversão energética. Desta forma, a autonomia potencial média obtida será a mesma, 4.5km diários, a ser retirada ao valor de distância total percorrida, em concordância com a análise anterior. Relativamente, a análise económica do *Aptera*, optou-se por determinar o custo máximo que a opção solar poderia ter, para que houvesse um retorno do investimento em 5 anos. A razão para tal, fundamenta-se com a falta de informação sobre os custos associados à implementação tecnológica em estudo. O valor utilizado para autonomia solar potencial foi de 40km diários.

Tabela 5.10: Cálculo do retorno do investimento para o mesmo modelo EV com e sem a opção solar.

veículo	Hyundai IONIQ 5 VE*	Hyundai IONIQ 5 VS*	Aptera 3 VE*	Aptera 3 VS*
Preço inicial €	51000	51930	25000	25623
Dist percorrida- Conductor T km	20951	19308.5	20951	6351
Consumo Wh/km	194		63	
Custo comb. €/kWh	0.1355			
Custo Anual de Energia €	550.74	507.56	178.85	54.21
Poupança Anual €	43.18		124.63	
Retorno Investimento anos	21.54		5	

Após análise dos dados apresentados na tabela 5.10, pode inferir-se que o investimento em painéis solares para o *Hyundai IONIQ 5* não será benéfico, isto se o valor da aquisição for o mesmo do outro modelo abordado. Um retorno de 20 anos é um intervalo de tempo demasiado extenso, quando comparado com o tempo de vida útil de um automóvel. Por se tratar de um VE, o consumo de energia será menor quando comparada com um VCI, ou até um PHEV, como é o caso do *Sonata*. Desta forma, a poupança anual entre as duas opções será inferior, e como tal, o retorno de investimento irá demorar mais tempo.

Relativamente ao *Aptera*, para que haja um retorno de investimento em 5 anos, a integração de painéis teria de custar $25623 - 25000 = 623€$. Este valor aparenta ser irrealista, e como tal deduz-se que é impraticável. Porém, se a análise for feita com um retorno a 10 anos, o preço da

opção solar será: $PrecoMax_{op.solar} = 124.63 \times 10 = 1246.3\text{€}$. Este resultado é coerente comparativamente ao valor anterior e como tal, poderá ser aplicável no contexto real.

Capítulo 6

Fecho

6.1 Conclusões

O panorama tecnológico atual permite a existência de veículos com capacidade de captação de energia solar, sendo essa energia suficiente para uma mobilidade razoável. Distinguem-se veículos elétricos que optam por integrar painéis fotovoltaicos em modelos de automóveis preexistentes, e automóveis idealizados para maximizar o potencial de transformação de energia solar. O segundo tipo de veículo tem uma autonomia superior quando comparado com o primeiro, dado que há todo um processo de otimização, na construção de um modelo com um conceito, à priori, em mente.

Tendo em conta que a radiação global incidente é variável consoante a localização geográfica, e que isso afetará a energia convertida pelos painéis, é possível realizar mais quilómetros com um veículo solar em climas com maior disponibilidade de radiação solar. No cenário português, a conversão energética mostrou-se promissora, uma vez que, para a tecnologia atual, os valores de autonomia solar obtida rondaram entre 13000 e os 17000 *km* anuais. Em relação ao cenário tecnológico futuro, estimado, os números ultrapassam os 20000 *km*, reforçando, novamente, a potencialidade destes veículos elétricos. Estes dados indiciam, que a maioria dos condutores portugueses consegue deslocar-se diariamente, sem a necessidade de carregar o veículo.

A averiguação da ilação supramencionada, concretizou-se com a confrontação entre os valores obtidos e os dados criados, em concordância com a mobilidade dos condutores portugueses. Os valores de distância anual percorrida foram subdivididos em duas vertentes temporais, diária e semanal, onde os mesmos foram comparados com a autonomia correspondente. Assim sendo, determinou-se os dias e as semanas onde a energia transformada pelos painéis era suficiente para cobrir a distância percorrida. Comprovou-se que um condutor que realize uma média diária de 20 a 30 *km* irá passar entre 50 a 60 % do ano sem necessidade de carregar o seu automóvel. Porém, se estivermos perante automobilistas que realizem entre 50 a 60 *km*, a necessidade de carregamento irá intervalar entre 70 a 80 % dos dias do ano. Não obstante, os quilómetros em modo solar, isto é, a custo zero, representam entre 70 a 75 % da distância percorrida anualmente. Para um condutor que efetue 80 *km* diários, totalizando mais de 30000 *km* anuais, metade dessa distância, poderá ser assegurada pelos painéis fotovoltaicos. Estas constatações, juntamente com as retiradas na análise

semanal, evidenciam a potencialidade da tecnologia em causa, onde um veículo elétrico com as características de consumo e eficiência de conversão predefinidas, poderá constituir uma excelente solução para a maioria dos portugueses.

A análise de benefícios provou ser útil para cimentar a capacidade que a tecnologia em estudo pode ter. Do ponto de vista ambiental, se todos os veículos de uma dada faixa etária fossem substituídos por veículos solares com emissões nulas (cenário hipotético, onde os condutores não carregariam o veículo elétrico), as emissões de gases poluentes seriam reduzidas em milhares de toneladas por ano. Concretamente, a redução de CO poderia chegar às 4000 *ton* e a de $HC + NO_x$ chegaria às 1400 *ton* para veículos diesel, em concordância com a Norma EURO 1. Se falarmos de emissões totais de CO_2 , a redução poderia atingir os $195 \cdot 10^3$ *ton*, se todos os veículos matriculados em 2000 fossem substituídos por veículos solares não poluentes. A redução seria proporcional à idade do veículo substituído, ou seja, quanto mais velho for o automóvel, maior será o potencial de redução de emissões.

Relativamente a análise económica, deduziu-se que existem vantagens em adquirir um veículo elétrico em detrimento de um veículo de combustão interna, quer do ponto de vista fiscal, quer do ponto de vista de custos de deslocação. Quando comparado com um VCI, o custo anual de energia de um VE pode ser 1/5 mais baixo. Naturalmente, que a tendência manter-se-à para um veículo solar, havendo apenas a necessidade de verificar o retorno do custo inicial extra para a aquisição de painéis. A maior limitação poderá ser mesmo o preço inicial, uma vez que os VEs são substancialmente mais caros quando comparados com os VCIs, e assim sendo, essa realidade estará ainda mais patenteada quando o comparativo é feito com os veículos solares. Todavia, é inegável que o custo anual de energia de um veículo solar será inferior ao de um veículo elétrico, tendo em conta que uma boa parcela da energia armazenada nas baterias, não tem qualquer custo. Uma vez mais surge a necessidade de distinguir entre veículos solares idealizados de raiz, e veículos elétricos/híbridos com painéis integrados enquanto extra. Apesar de haver incertezas em relação ao primeiro, fruto da incerteza associada ao seu custo inicial, tornou-se notório, que no segundo caso, o retorno do investimento poderá ocorrer ao fim de apenas 7 anos, como se verificou com o *Hyundai Sonata*.

Ulteriormente, a tecnologia em estudo poderá integrar o parque automóvel num futuro próximo, isto porque, apresenta algumas vantagens quando comparada com as tecnologias automotivas vigentes, principalmente as mais antigas. Em Portugal, um condutor de um veículo solar, para além do contributo ambiental, poderá poupar substancialmente.

6.2 Sugestão de trabalhos futuros

Uma das lacunas na elaboração da dissertação, prendeu-se com a determinação do impacto da tecnologia automotiva na rede elétrica. A bateria de um veículo elétrico, pode ser carregada na rede, com uma série de parâmetros de controlo, vulgarmente denominados como planos de carregamento. A ideia do carregamento inteligente, é realizá-lo no momento em que é mais benéfico,

sendo este critério variável. O benefício poderá ser um carregamento a um preço reduzido, ou quando existe um excedente de energia, ou quando a procura é mais baixa, entre outros.

A tecnologia V2G(*Vehicle-to-Grid*) consiste na capacidade de um automóvel elétrico fornecer energia à rede, mudando o sentido convencional de transmissão de corrente. Esta funcionalidade pode ser muito vantajosa, em determinadas condições. Na tecnologia V2B(*Vehicle-to-Building*) o princípio de funcionamento é o mesmo, no entanto a energia seria fornecida a um edifício. Um veículo solar, com estas funcionalidades, seria capaz de armazenar energia de origem renovável durante períodos de baixa utilização, e devolvê-la à rede ou edifício quando requerido.

Com a crescente adoção de veículos elétricos, a necessidade de recondicionar a rede elétrica e reforçá-la para atender às procuras de energias, poderá constituir um bom investimento. A tecnologia automotiva em estudo, juntamente com as funcionalidades referidas, poderá servir como solução de curto/médio prazo para minimizar o impacto na rede de distribuição.

Como trabalho futuro, sugere-se a avaliação do impacto dos veículos solares na rede elétrica portuguesa. Nomeadamente, pela redução do número de postos de carregamento, redução da potência de pico e a redução de investimento na rede.

Referências

- [1] ACAP. Estatísticas do sector automovel 2018.
- [2] John Anderson. Panasonic develops solar car roof for prius. *New Atlas*, 2017.
- [3] Aptera. Aptera 3 ev official website.
- [4] Kenji Araki, Liang Ji, George Kelly, Arjo van der Ham, Emilio Agudo, Ignacio Antón, Mathieu Baudrit, Anna Carr, Rebeca Herrero, Sarah Kurtz, Zhengxin Liu, Mauro Pravettoni, Yasuyuki Ota, Hiromi Tobita, Sewang Yoon, Masahiro Yoshita, Masafumi Yamaguchi, e Kensuke Nishioka. How did the knowledge of cpv contribute to the standardization activity of vipv? novembro 2020.
- [5] Eric Baxter. How the fisker karma works, 2009.
- [6] Ben Bridgens, Mark Powell, Graham Farmer, Claire Walsh, Eleanor Reed, Mohammad Royapoor, Peter Gosling, Jean Hall, e Oliver Heidrich. Creative upcycling: Reconnecting people, materials and place through making. *Journal of Cleaner Production*, 189:145–154, jul 2018.
- [7] CGD. Carros elétricos ou a combustão? saiba da manutenção mais económica, 2020.
- [8] International Comparisons. Transportation.
- [9] Dieselnet. Emission standards.
- [10] Total Energies. As normas euro de control de emissões poluentes.
- [11] EUROSTAT. Average co2 emissions per km from new passenger cars, 2020.
- [12] Savaget P. Bocken N. M. P. Hultink E. J. Geissdoerfer, M. The circular economy – a new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 2017.
- [13] Patrizia Ghisellini, Catia Cialani, e Sergio Ulgiati. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114:11–32, feb 2016.
- [14] Fernando Gomes. Campeões dos consumos. quais os carros que gastam menos?, 2019.
- [15] Andrew Gong. Understanding pv system losses, part 1: Nameplate, mismatch, and lid losses. 2021.
- [16] José Aquiles Baesso Grimoni. Energia solar fotovoltaica. PEA-EPUSP, 2019.
- [17] INE. Alojamentos familiares de residência habitual (n.º) por localização geográfica (à data dos censos 2011) e existência de lugar de estacionamento ou garagem; decenal, 2012.

- [18] INE. Predomínio do automóvel nas deslocações dos residentes das Áreas metropolitanas de porto e lisboa, julho 2018.
- [19] Pedro Isidoro. Emissões de co2. mito desfeito., 2020.
- [20] Angelina Korsunova-Tsaruk, Susanna Horn, e Annukka Vainio. Understanding circular economy in everyday life: Perceptions of young adults in the finnish context. *Sustainable Production and Consumption*, 26:759–769, apr 2021.
- [21] Fred Lambert. Tesla cybertruck will have solar roof option to add 15 miles of range per day. *electrek*, 2019.
- [22] Rebecca Lindsey. Climate and earth’s energy budget, 2009.
- [23] Max Mittag Luís Eduardo Dirk Eberlein Martin Heinrich, Christoph Kutter. Potential and challenges of vehicle integrated photovoltaics for passenger cars. *Fraunhofer Institute of Solar Energy*, 2020.
- [24] Sono Motors. Sono sion official website.
- [25] Bianca Lim Olga Kanz. Vehicle-integrated photovoltaics and (vipv) as a core source for and electricity in road transport. *Institut für Solarenergieforschung GmbH*, 2020.
- [26] Lightyear One. Lightyear one official website.
- [27] Peter Fairleyarchive page. The underwhelming solar prius, 2009.
- [28] PORDATA. Quantas matrículas de automóveis ligeiros, pesados, motas, tractores e reboques são efectuadas por ano?, 2020.
- [29] Jon Porter. Toyota is testing a much more efficient solar roof for its electric cars. *The Verge*, 2019.
- [30] David B. Richardson. Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, impacts, and renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19:247–254, mar 2013.
- [31] Joel Stockdale. Hyundai ioniq 5 revealed with long range, strong performance, concept car looks, 2021.
- [32] Hyundai Motor Group Tech. Everything about the sonata hybrid’s solar roof. Relatório técnico, 2020.
- [33] Marcelo Villalva. Efeito da temperatura nos módulos fotovoltaicos mono e policristalinos. 2019.
- [34] John Voelcker. Exclusive: 3-wheeled aptera reboots as world’s most efficient electric car. *IEEE Spectrum*, 2019.
- [35] Wikipedia. Fisker karma, 2011.
- [36] Wikipedia. Toyota prius plug-in hybrid, 2017.
- [37] Xin Zou Xusheng Liang, Elvis Tanyi. Charging electric cars from solar energy. Tese de mestrado, Blekinge Institute of Technology, 2016.

Anexo A

Anexos

A.1 Código *Excel VBA* utilizado nos capítulo 3 e 4

A.1.1 Capítulo 3

```
1
2 Sub Somadiariaatual()
3
4     Dim linha As Integer
5     Dim dias As Integer
6     Dim horas As Integer
7     Dim Aux As Double
8     linha = 9
9     For dias = 1 To 365
10        Aux = 0
11        For horas = 1 To 24
12            linha = linha + 1
13            Aux = Aux + Cells(linha, 9).Value
14            Cells(linha, 14).Value = Aux
15        Next horas
16    Next dias
17 End Sub
18
19
20 Sub Somamensalatual()
21
22     Dim linha As Integer
23     Dim Aux As Integer
24     Dim dias As Integer
25     Dim horas As Integer
26     Dim soma As Double
27     linha = 10
28     For Aux = 1 To 8759
```

```

29     If Cells(linha, 1).Value = 1 Or Cells(linha, 1).Value = 3 Or Cells(linha,
30         1).Value = 5 Or Cells(linha, 1).Value = 7 Or Cells(linha, 1).Value = 8
31         Or Cells(linha, 1).Value = 10 Or Cells(linha, 1).Value = 12 Then
32         soma = 0
33         For dias = 1 To 31
34             For horas = 1 To 24
35                 soma = soma + Cells(linha, 9).Value
36                 linha = linha + 1
37                 Cells(linha, 15).Value = soma
38             Next horas
39         Next dias
40     End If
41     If Cells(linha, 1).Value = 4 Or Cells(linha, 1).Value = 6 Or Cells(linha,
42         1).Value = 9 Or Cells(linha, 1).Value = 11 Then
43         soma = 0
44         For dias = 1 To 30
45             For horas = 1 To 24
46                 soma = soma + Cells(linha, 9).Value
47                 linha = linha + 1
48                 Cells(linha, 15).Value = soma
49             Next horas
50         Next dias
51     End If
52     If Cells(linha, 1).Value = 2 Then
53         soma = 0
54         For dias = 1 To 28
55             For horas = 1 To 24
56                 soma = soma + Cells(linha, 9).Value
57                 linha = linha + 1
58                 Cells(linha, 15).Value = soma
59             Next horas
60         Next dias
61     End If
62 Next Aux
63 End Sub
64
65 Sub somadiariafutura()
66     Dim linha As Integer
67     Dim dias As Integer
68     Dim horas As Integer
69     Dim Aux As Double
70     linha = 9
71     For dias = 1 To 365
72         Aux = 0
73         For horas = 1 To 24
74             linha = linha + 1
75             Aux = Aux + Cells(linha, 13).Value

```

```
75         Cells(linha, 16).Value = Aux
76     Next horas
77 Next dias
78 End Sub
79
80
81 Sub somamensalfutura()
82
83     Dim linha As Integer
84     Dim Aux As Integer
85     Dim dias As Integer
86     Dim horas As Integer
87     Dim soma As Double
88     linha = 10
89     For Aux = 1 To 8759
90         If Cells(linha, 1).Value = 1 Or Cells(linha, 1).Value = 3 Or Cells(linha,
91             1).Value = 5 Or Cells(linha, 1).Value = 7 Or Cells(linha, 1).Value = 8
92             Or Cells(linha, 1).Value = 10 Or Cells(linha, 1).Value = 12 Then
93             soma = 0
94             For dias = 1 To 31
95                 For horas = 1 To 24
96                     soma = soma + Cells(linha, 13).Value
97                     linha = linha + 1
98                     Cells(linha, 17).Value = soma
99                 Next horas
100             Next dias
101             End If
102             If Cells(linha, 1).Value = 4 Or Cells(linha, 1).Value = 6 Or Cells(linha,
103                 1).Value = 9 Or Cells(linha, 1).Value = 11 Then
104                 soma = 0
105                 For dias = 1 To 30
106                     For horas = 1 To 24
107                         soma = soma + Cells(linha, 13).Value
108                         linha = linha + 1
109                         Cells(linha, 17).Value = soma
110                     Next horas
111                 Next dias
112             End If
113             If Cells(linha, 1).Value = 2 Then
114                 soma = 0
115                 For dias = 1 To 28
116                     For horas = 1 To 24
117                         soma = soma + Cells(linha, 13).Value
118                         linha = linha + 1
119                         Cells(linha, 17).Value = soma
120                     Next horas
121                 Next dias
122             End If
```



```

167         linha = linha + 1
168         Cells(linha, 19).Value = soma
169     Next horas
170 Next dias
171 End If
172 If Cells(linha, 1).Value = 2 Then
173     soma = 0
174     For dias = 1 To 28
175         For horas = 1 To 24
176             soma = soma + Cells(linha, 4).Value
177             linha = linha + 1
178             Cells(linha, 19).Value = soma
179         Next horas
180     Next dias
181 End If
182 Next Aux
183 End Sub
184
185
186 Sub autonomiadiariaatual()
187
188 Dim horas As Integer
189 Dim dias As Integer
190 Dim count As Integer
191 Dim linha As Integer
192 Dim i As Integer
193 Dim Aux As Double
194 Dim Max As Double
195 linha = 9
196 For dias = 1 To 365
197     Aux = 0
198     Max = 0
199     For horas = 1 To 24
200         linha = linha + 1
201         If Cells(linha, 14).Value > Max Then
202             Max = Cells(linha, 14).Value
203         End If
204     Next horas
205     Aux = Max
206     Cells(linha, 20).Value = Aux
207
208 Next dias
209 End Sub
210
211
212 Sub tabelaautonomiadiariaatual()
213
214 Dim Aux As Integer
215 Dim horas As Integer

```

```
216 Aux = 10
217 For horas = 9 To 8759 Step 24
218     Aux = Aux + 1
219     Cells(Aux, 26).Value = Cells(horas, 20).Value
220 Next horas
221 End Sub
222
223
224
225 Sub tabelaaautonomiadiariafutura()
226
227 Dim Aux As Integer
228 Dim horas As Integer
229 Aux = 10
230 For horas = 9 To 8759 Step 24
231     Aux = Aux + 1
232     Cells(Aux, 27).Value = Cells(horas, 21).Value
233 Next horas
234 End Sub
235
236
237 Sub autonomiadiariafutura()
238
239 Dim horas As Integer
240 Dim dias As Integer
241 Dim count As Integer
242 Dim linha As Integer
243 Dim i As Integer
244 Dim Aux As Double
245 Dim Max As Double
246 linha = 9
247 For dias = 1 To 365
248     Aux = 0
249     Max = 0
250     For horas = 1 To 24
251         linha = linha + 1
252         If Cells(linha, 16).Value > Max Then
253             Max = Cells(linha, 16).Value
254         End If
255     Next horas
256     Aux = Max
257     Cells(linha, 21).Value = Aux
258 Next dias
259 End Sub
260
261
262 Sub radglobHdiaria()
263
264 Dim horas As Integer
```

```
265 Dim dias As Integer
266 Dim count As Integer
267 Dim linha As Integer
268 Dim i As Integer
269 Dim Aux As Double
270 Dim Max As Double
271 linha = 9
272 For dias = 1 To 365
273     Aux = 0
274     Max = 0
275     For horas = 1 To 24
276         linha = linha + 1
277         If Cells(linha, 18).Value > Max Then
278             Max = Cells(linha, 18).Value
279         End If
280     Next horas
281     Aux = Max
282     Cells(linha, 22).Value = Aux
283 Next dias
284 End Sub
285
286
287 Sub tabelaradglobHdiaria()
288
289 Dim Aux As Integer
290 Dim horas As Integer
291 Aux = 10
292 For horas = 9 To 8759 Step 24
293     Aux = Aux + 1
294     Cells(Aux, 28).Value = Cells(horas, 22).Value
295 Next horas
296 End Sub
```

Listing A.1: Diferentes subrotinas criadas para determinar a autonomia potencial no capítulo 3

A.1.2 Capítulo 4

A.1.2.1 Análise diária

```
1
2
3 Sub autonomiavsmobilidadeatuallisboa()
4
5 Dim Aux As Integer
6 Dim Aux2 As Integer
7 Dim col As Integer
8 Dim linha As Integer
```

```
9 Dim linha2 As Integer
10 linha = 12
11 linha2 = 383
12 col = 34
13 For Aux = 1 To 23
14     linha = linha + 1
15     col = col + 1
16     linha2 = 383
17     For Aux2 = 1 To 365
18         linha2 = linha2 + 1
19         If Cells(linha2, 33).Value < Cells(linha, 30).Value Then
20             Cells(linha2, col) = 1
21         End If
22     Next Aux2
23 Next Aux
24 End Sub
25
26
27 Sub autonomiavsmobilidadefuturalisboa()
28
29 Dim Aux As Integer
30 Dim Aux2 As Integer
31 Dim col As Integer
32 Dim linha As Integer
33 Dim linha2 As Integer
34 linha = 12
35 linha2 = 383
36 col = 57
37 For Aux = 1 To 23
38     linha = linha + 1
39     col = col + 1
40     linha2 = 383
41     For Aux2 = 1 To 365
42         linha2 = linha2 + 1
43         If Cells(linha2, 34).Value < Cells(linha, 30).Value Then
44             Cells(linha2, col) = 1
45         End If
46     Next Aux2
47 Next Aux
48 End Sub
49
50
51 Sub quilometrosredeportoatual()
52
53 Dim Aux As Integer
54 Dim Aux2 As Integer
55 Dim col As Integer
56 Dim linha As Integer
57 Dim linha2 As Integer
```

```
58 Dim soma As Double
59 linha = 12
60 linha2 = 12
61 col = 34
62 For Aux = 1 To 23
63     linha = linha + 1
64     col = col + 1
65     linha2 = 12
66     soma = 0
67     For Aux2 = 1 To 365
68         linha2 = linha2 + 1
69         If Cells(linha2, col).Value = 1 Then
70             soma = soma + (Cells(linha, 29).Value - Cells(linha2, 33).Value)
71         End If
72     Next Aux2
73     Cells(380, col).Value = soma
74 Next Aux
75 End Sub
76
77
78 Sub quilometrosredeportofutura()
79
80 Dim Aux As Integer
81 Dim Aux2 As Integer
82 Dim col As Integer
83 Dim linha As Integer
84 Dim linha2 As Integer
85 Dim soma As Double
86 linha = 12
87 linha2 = 12
88 col = 57
89 For Aux = 1 To 23
90     linha = linha + 1
91     col = col + 1
92     linha2 = 12
93     soma = 0
94     For Aux2 = 1 To 365
95         linha2 = linha2 + 1
96         If Cells(linha2, col).Value = 1 Then
97             soma = soma + (Cells(linha, 29).Value - Cells(linha2, 34).Value)
98         End If
99     Next Aux2
100     Cells(380, col).Value = soma
101 Next Aux
102 End Sub
103
104
105 Sub quilometrossolarporto()
106
```

```
107 Dim col As Integer
108 Dim Aux As Integer
109 Dim Aux2 As Integer
110 Dim linha As Integer
111 col = 34
112 linha = 38
113 For Aux = 1 To 23
114     linha = linha + 1
115     col = col + 1
116     Cells(381, col).Value = Cells(linha, 29).Value - Cells(380, col).Value
117 Next Aux
118 linha = 38
119     For Aux2 = 1 To 23
120         linha = linha + 1
121         col = col + 1
122         Cells(381, col).Value = Cells(linha, 29).Value - Cells(380, col).Value
123     Next Aux2
124 End Sub
125
126
127 Sub quilometrosredelisboaatual()
128
129 Dim Aux As Integer
130 Dim Aux2 As Integer
131 Dim col As Integer
132 Dim linha As Integer
133 Dim linha2 As Integer
134 Dim soma As Double
135
136 linha = 12
137 linha2 = 383
138 col = 34
139 For Aux = 1 To 23
140     linha = linha + 1
141     col = col + 1
142     linha2 = 383
143     soma = 0
144     For Aux2 = 1 To 365
145         linha2 = linha2 + 1
146         If Cells(linha2, col).Value = 1 Then
147             soma = soma + (Cells(linha, 30).Value - Cells(linha2, 33).Value)
148         End If
149     Next Aux2
150     Cells(751, col).Value = soma
151 Next Aux
152 End Sub
153
154
155 Sub quilometrosredelisboaafutura()
```

```
156
157 Dim Aux As Integer
158 Dim Aux2 As Integer
159 Dim col As Integer
160 Dim linha As Integer
161 Dim linha2 As Integer
162 Dim soma As Double
163 linha = 12
164 linha2 = 383
165 col = 57
166 For Aux = 1 To 23
167     linha = linha + 1
168     col = col + 1
169     linha2 = 383
170     soma = 0
171     For Aux2 = 1 To 365
172         linha2 = linha2 + 1
173         If Cells(linha2, col).Value = 1 Then
174             soma = soma + (Cells(linha, 30).Value - Cells(linha2, 33).Value)
175         End If
176     Next Aux2
177     Cells(751, col).Value = soma
178 Next Aux
179 End Sub
180
181
182 Sub quilometrossolarlisboa()
183
184 Dim col As Integer
185 Dim Aux As Integer
186 Dim Aux2 As Integer
187 Dim linha As Integer
188 col = 34
189 linha = 38
190 For Aux = 1 To 23
191     linha = linha + 1
192     col = col + 1
193     Cells(752, col).Value = Cells(linha, 30).Value - Cells(751, col).Value
194 Next Aux
195 linha = 38
196 For Aux2 = 1 To 22
197     linha = linha + 1
198     col = col + 1
199     Cells(752, col).Value = Cells(linha, 30).Value - Cells(751, col).Value
200 Next Aux2
201 End Sub
```

Listing A.2: Diferentes subrotinas criadas para efetuar o estudo da mobilidade

A.1.2.2 Análise semanal

```
1
2 Sub somasemanalatualporto()
3 Dim dias As Integer
4 Dim semanas As Integer
5 Dim linha As Integer
6 Dim linha2 As Integer
7 linha = 12
8 linha2 = 12
9 For semanas = 1 To 52
10     soma = 0
11     linha2 = linha2 + 1
12     For dias = 1 To 7
13         linha = linha + 1
14         soma = soma + Cells(linha, 16).Value
15     Next dias
16     Cells(linha2, 21).Value = soma
17 Next semanas
18 End Sub
19
20
21 Sub somasemanalfuturaporto()
22 Dim dias As Integer
23 Dim semanas As Integer
24 Dim linha As Integer
25 Dim linha2 As Integer
26 linha = 12
27 linha2 = 12
28 For semanas = 1 To 52
29     soma = 0
30     linha2 = linha2 + 1
31     For dias = 1 To 7
32         linha = linha + 1
33         soma = soma + Cells(linha, 17).Value
34     Next dias
35     Cells(linha2, 22).Value = soma
36 Next semanas
37 End Sub
38
39
40 Sub autonomiavsmobilidadeatualporto()
41
42 Dim Aux As Integer
43 Dim Aux2 As Integer
44 Dim col As Integer
45 Dim linha As Integer
46 Dim linha2 As Integer
```

```
47 linha = 12
48 linha2 = 12
49 col = 22
50 For Aux = 1 To 11
51     linha = linha + 1
52     col = col + 1
53     linha2 = 12
54     For Aux2 = 1 To 52
55         linha2 = linha2 + 1
56         If Cells(linha2, 21).Value < Cells(linha, 8).Value Then
57             Cells(linha2, col) = 1
58         End If
59     Next Aux2
60 Next Aux
61 End Sub
62
63
64 Sub autonomiavsmobilidadefuturaporto()
65
66 Dim Aux As Integer
67 Dim Aux2 As Integer
68 Dim col As Integer
69 Dim linha As Integer
70 Dim linha2 As Integer
71 linha = 12
72 linha2 = 12
73 col = 33
74 For Aux = 1 To 11
75     linha = linha + 1
76     col = col + 1
77     linha2 = 12
78     For Aux2 = 1 To 52
79         linha2 = linha2 + 1
80         If Cells(linha2, 22).Value < Cells(linha, 8).Value Then
81             Cells(linha2, col) = 1
82         End If
83     Next Aux2
84 Next Aux
85 End Sub
86
87
88 Sub quilometrosredeportoatual()
89
90 Dim Aux As Integer
91 Dim Aux2 As Integer
92 Dim col As Integer
93 Dim linha As Integer
94 Dim linha2 As Integer
95 Dim soma As Double
```

```
96 linha = 12
97 linha2 = 12
98 col = 22
99 For Aux = 1 To 11
100     linha = linha + 1
101     col = col + 1
102     linha2 = 12
103     soma = 0
104     For Aux2 = 1 To 52
105         linha2 = linha2 + 1
106         If Cells(linha2, col).Value = 1 Then
107             soma = soma + (Cells(linha, 8).Value - Cells(linha2, 21).Value)
108         End If
109     Next Aux2
110     Cells(67, col).Value = soma
111 Next Aux
112 End Sub
113
114
115 Sub quilometrosredeportofutura()
116
117 Dim Aux As Integer
118 Dim Aux2 As Integer
119 Dim col As Integer
120 Dim linha As Integer
121 Dim linha2 As Integer
122 Dim soma As Double
123 linha = 12
124 linha2 = 12
125 col = 33
126 For Aux = 1 To 11
127     linha = linha + 1
128     col = col + 1
129     linha2 = 12
130     soma = 0
131     For Aux2 = 1 To 52
132         linha2 = linha2 + 1
133         If Cells(linha2, col).Value = 1 Then
134             soma = soma + (Cells(linha, 8).Value - Cells(linha2, 22).Value)
135         End If
136     Next Aux2
137     Cells(67, col).Value = soma
138 Next Aux
139 End Sub
140
141
142 Sub quilometrossolarporto()
143
144 Dim col As Integer
```

```
145 Dim Aux As Integer
146 Dim Aux2 As Integer
147 Dim linha As Integer
148 col = 22
149 linha = 71
150 For Aux = 1 To 11
151     linha = linha + 1
152     col = col + 1
153     Cells(68, col).Value = Cells(linha, 21).Value - Cells(67, col).Value
154 Next Aux
155 linha = 71
156     For Aux2 = 1 To 11
157         linha = linha + 1
158         col = col + 1
159         Cells(68, col).Value = Cells(linha, 21).Value - Cells(67, col).Value
160     Next Aux2
161 End Sub
162
163
164 Sub somasemanalatualisboa()
165 Dim dias As Integer
166 Dim semanas As Integer
167 Dim linha As Integer
168 Dim linha2 As Integer
169 linha = 382
170 linha2 = 382
171 For semanas = 1 To 52
172     soma = 0
173     linha2 = linha2 + 1
174     For dias = 1 To 7
175         linha = linha + 1
176         soma = soma + Cells(linha, 16).Value
177     Next dias
178     Cells(linha2, 21).Value = soma
179 Next semanas
180 End Sub
181
182
183 Sub somasemanalfuturalisboa()
184 Dim dias As Integer
185 Dim semanas As Integer
186 Dim linha As Integer
187 Dim linha2 As Integer
188 linha = 382
189 linha2 = 382
190 For semanas = 1 To 52
191     soma = 0
192     linha2 = linha2 + 1
193     For dias = 1 To 7
```

```
194         linha = linha + 1
195         soma = soma + Cells(linha, 17).Value
196     Next dias
197     Cells(linha2, 22).Value = soma
198 Next semanas
199 End Sub
200
201
202 Sub autonomiavsmobilidadeatuallisboa()
203
204 Dim Aux As Integer
205 Dim Aux2 As Integer
206 Dim col As Integer
207 Dim linha As Integer
208 Dim linha2 As Integer
209 linha = 12
210 linha2 = 382
211 col = 22
212 For Aux = 1 To 11
213     linha = linha + 1
214     col = col + 1
215     linha2 = 382
216     For Aux2 = 1 To 52
217         linha2 = linha2 + 1
218         If Cells(linha2, 21).Value < Cells(linha, 11).Value Then
219             Cells(linha2, col) = 1
220         End If
221     Next Aux2
222 Next Aux
223 End Sub
224
225
226 Sub autonomiavsmobilidadefuturalisboa()
227
228 Dim Aux As Integer
229 Dim Aux2 As Integer
230 Dim col As Integer
231 Dim linha As Integer
232 Dim linha2 As Integer
233 linha = 12
234 linha2 = 382
235 col = 33
236 For Aux = 1 To 11
237     linha = linha + 1
238     col = col + 1
239     linha2 = 382
240     For Aux2 = 1 To 52
241         linha2 = linha2 + 1
242         If Cells(linha2, 22).Value < Cells(linha, 11).Value Then
```

```
243         Cells(linha2, col) = 1
244     End If
245 Next Aux2
246 Next Aux
247 End Sub
248
249
250 Sub quilometrosredelisboaoatual()
251
252 Dim Aux As Integer
253 Dim Aux2 As Integer
254 Dim col As Integer
255 Dim linha As Integer
256 Dim linha2 As Integer
257 Dim soma As Double
258 linha = 12
259 linha2 = 382
260 col = 22
261 For Aux = 1 To 11
262     linha = linha + 1
263     col = col + 1
264     linha2 = 382
265     soma = 0
266     For Aux2 = 1 To 52
267         linha2 = linha2 + 1
268         If Cells(linha2, col).Value = 1 Then
269             soma = soma + (Cells(linha, 11).Value - Cells(linha2, 21).Value)
270         End If
271     Next Aux2
272     Cells(437, col).Value = soma
273 Next Aux
274 End Sub
275
276
277 Sub quilometrosredelisboafutura()
278
279 Dim Aux As Integer
280 Dim Aux2 As Integer
281 Dim col As Integer
282 Dim linha As Integer
283 Dim linha2 As Integer
284 Dim soma As Double
285 linha = 12
286 linha2 = 382
287 col = 33
288 For Aux = 1 To 11
289     linha = linha + 1
290     col = col + 1
291     linha2 = 382
```

```
292     soma = 0
293     For Aux2 = 1 To 52
294         linha2 = linha2 + 1
295         If Cells(linha2, col).Value = 1 Then
296             soma = soma + (Cells(linha, 11).Value - Cells(linha2, 22).Value)
297         End If
298     Next Aux2
299     Cells(437, col).Value = soma
300 Next Aux
301 End Sub
302
303
304 Sub quilometrossolarlisboa()
305
306 Dim col As Integer
307 Dim Aux As Integer
308 Dim Aux2 As Integer
309 Dim linha As Integer
310 col = 22
311 linha = 71
312 For Aux = 1 To 11
313     linha = linha + 1
314     col = col + 1
315     Cells(438, col).Value = Cells(linha, 22).Value - Cells(437, col).Value
316 Next Aux
317 linha = 71
318     For Aux2 = 1 To 11
319         linha = linha + 1
320         col = col + 1
321         Cells(438, col).Value = Cells(linha, 22).Value - Cells(437, col).Value
322     Next Aux2
323 End Sub
```

Listing A.3: Diferentes subrotinas criadas para efetuar o estudo da mobilidade