



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

João Pedro Oliveira Santos

**A COMPARATIVE ASSESSMENT OF ELECTRIC
VEHICLES BASED ON THE PROMETHEE-GAIA
MULTICRITERIA APPROACH**

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, do ramo de especialização em Energia, orientada pelo Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes e pela Professora Doutora Carla Margarida Saraiva de Oliveira Henriques e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.

Coimbra, Outubro de 2021

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

A Comparative Assessment of Electric
Vehicles based on the Promethee-Gaia
multicriteria approach

João Pedro Oliveira Santos

Coimbra, Outubro de 2021



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE D
COIMBRA

**A Comparative Assessment of Electric Vehicles based
on the Promethee-Gaia multicriteria approach**

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, do ramo de especialização em Energia, orientada pelo professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes e pela Professora Doutora Carla Margarida Saraiva de Oliveira Henriques e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.

Orientadores:

Prof. Dr. Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes
Prof^ª. Dr^ª. Carla Margarida Saraiva de Oliveira Henriques

Júri:

Prof. Dr. Carlos Alberto Henggeler de Carvalho Antunes
Prof^ª. Dr^ª. Dulce Helena Carvalho Coelho
Prof. Dr. Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes

Coimbra, Outubro de 2021

Abstract

With the increase of greenhouse gas emissions associated to the transport sector, due to the great dependence on oil and its derivatives, there has been an acceleration of climate change. To stop these changes, the European Union intends to decarbonise the sector until 2050. Thus, vehicles with internal combustion engines should be replaced by vehicles that use other technologies. Electric vehicles appear to be an alternative for solving this problem, as they are considered to have a lower environmental impact. The work developed aims to assess the real impacts associated to this type of vehicles. To do so, a life cycle assessment in terms of emissions is carried out and a comparison is done against combustion engine vehicles. Then, a model based on a decision support methodology based on multicriteria analysis is developed to rank different vehicles. The method employed herein is the PROMETHEE GAIA. This method provides a ranking of the vehicles according to a set of criteria: environmental, economic and technical. Overall, it was found that, electric vehicles could, in fact, be an alternative to combustion engines for long distances covered. However, there is still the need of enhancing the technology, further deploy charging infrastructures and reduce the manufacturing costs of batteries.

Resumo

Com o aumento das emissões de gases de efeito estufa associadas ao setor de transportes, devido à grande dependência do petróleo e seus derivados, houve uma aceleração das alterações climáticas. Para mitigar essas alterações, a União Europeia pretende descarbonizar o setor até 2050. Assim, os veículos com motor de combustão interna devem ser substituídos por veículos que utilizem outras tecnologias. Os veículos elétricos aparecem como uma alternativa para a solução desse problema, por serem considerados de menor impacto ambiental. O trabalho desenvolvido visa avaliar os impactos associados a este tipo de veículos. Para esse efeito, é realizada uma avaliação do ciclo de vida em termos de emissões e uma comparação com os veículos com motor de combustão. Em seguida, é desenvolvida uma metodologia de apoio à decisão. Esta metodologia baseia-se em métodos de análise multicritério e, tem como objetivo efectuar uma ordenação, da melhor para a pior alternativa, o conjunto de veículos seleccionados. O método utilizado neste trabalho é o PROMETHEE GAIA. Este método ordena os veículos de acordo com um conjunto de critérios: ambientais, económicos e técnicos. Em geral, pode concluir-se que os veículos elétricos podem, de fato, ser uma alternativa aos motores de combustão para longas distâncias percorridas. Porém, é necessário melhorar a tecnologia, reforçar as infraestruturas de carregamento existentes e reduzir os custos de fabricação das baterias.

Palavras-chave: Análise Multicritério, Eletrificação do setor dos transportes, Análise de ciclo de vida

This work was partially supported by project grant UIDB/00308/2020 and by the European Regional Development Fund through the COMPETE 2020 Program, FCT— Portuguese Foundation for Science and Technology within project T4ENERTEC (POCI-01-0145-FEDER-029820), as well as by the Energy for Sustainability Initiative of the University of Coimbra.

Conteúdo

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
1 Introdução	1
1.1 Motivação e Contexto	1
1.2 Eletrificação do setor dos transportes	2
1.2.1 Um Mercado em Crescimento	3
1.2.2 Impactos Ambientais	3
1.2.3 Barreiras à Eletrificação dos Transportes	4
1.3 Caracterização dos Diferentes Tipos de Veículos	5
1.4 Objetivos da dissertação	6
1.5 Estrutura da dissertação	7
2 Revisão da literatura	9
2.1 Métodos de avaliação do ciclo de vida	9
2.2 Aplicação de análises de apoio à decisão a ACV	10
2.3 Metodologias de apoio à decisão multicritério (MCDA)	12
3 Metodologia de avaliação	15
3.1 O método PROMETHEE	15
3.2 PROMETHEE I e II	19
3.2.1 Graus de preferência	19
3.2.2 Fluxos de Relevância	20
3.2.3 PROMETHEE I - <i>Ranking</i> Parcial	20
3.2.4 PROMETHEE II - <i>Ranking</i> Completo	21
3.3 PROMETHEE GAIA	22
3.4 Aplicação computacional <i>Visual PROMETHEE</i>	22
4 Preparação do caso de estudo	25
4.1 Seleção de tecnologias alternativas aos VCI	25
4.2 Critérios de Avaliação	26

4.3	Avaliação do ciclo de vida das tecnologias selecionadas	27
4.3.1	Produção de gasolina	28
4.3.2	Produção de energia elétrica	28
4.3.3	Produção do veículo	28
4.3.4	Fase de uso do veículo	29
4.3.5	Fase de fim de vida	29
4.3.6	Valores apurados	29
5	Aplicação da metodologia	31
5.1	Desempenho das tecnologias selecionadas	31
5.1.1	Pesos e limiares de preferência usados no <i>software</i> VISUAL PRO- METHEE	31
5.2	Análise de alguns resultados	32
5.2.1	Perfil de consumidor 'Ambientalista'	32
5.2.1.1	Cenário 1	33
5.2.1.2	Cenário 2	35
5.2.1.3	Cenário 3	37
5.2.1.4	Cenário 4	39
5.2.2	Perfil de consumidor 'Ambientalista Condicionado'	41
5.2.2.1	Cenário 1	41
5.2.2.2	Cenário 2	42
5.2.2.3	Cenário 3	44
5.2.2.4	Cenário 4	45
5.2.3	Perfil de consumidor 'Indiferente'	46
5.2.3.1	Cenário 1	46
5.2.3.2	Cenário 2	48
5.2.3.3	Cenário 3	49
5.2.3.4	Cenário 4	50
5.3	Retorno do investimento e das emissões	52
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	57
6.1	Conclusão	57
	Bibliografia	59
	A Apêndice	63

Lista de acrónimos

CE Conselho Europeu

UE União Europeia

GEE Gases com Efeito de Estufa

VE Veículo Elétrico

VEH Veículo Elétrico Híbrido

VHR Veículo Híbrido Recarregável

FCEV Veículo elétrico a células de combustível

VE_x Veículo elétrico com extensor de autonomia

VCI Veículo a Combustão Interna

ACV Análise do ciclo de vida

MCDA Metodologias de apoio à decisão

PROMETHEE Preference Ranking Organization **METH**od for **E**nrichment of **E**valuations

Lista de Figuras

1.1	Emissões de CO ₂ , Europa 1990-2018. Fonte: IEA (2020) CO ₂ Emissions From Fuel Combustion	1
1.2	Veículos Elétricos em circulação, Mundo 2010-2019. Fonte: IEA (2020) Global EV Outlook 2020	3
2.1	Fases da análise do ciclo de vida.	10
2.2	Etapas de um processo de tomada de decisão.	13
3.1	Função de Preferência. Adaptado de:[26]	17
3.2	Relações de preferência. Adaptado de:[26]	19
3.3	Fluxos de relevância. Adaptado de:[26]	20
3.4	Introdução de um novo problema	23
3.5	Área de trabalho Visual PROMETHEE	24
4.1	ACV dos diferentes tipo de veículo em função do seu segmento automóvel.	30
5.1	Resultados relativos ao perfil ambientalista - Rankings - Cenário 1	33
5.2	Cenário 1 - PROMETHEE II	34
5.3	Cenário 1 - Plano GAIA	35
5.4	Resultados relativos ao perfil ambientalista - Rankings - Cenário 2	36
5.5	Cenário 2 - PROMETHEE II	36
5.6	Cenário 2 - Plano GAIA	37
5.7	Resultados relativos ao perfil ambientalista - Cenário 3	38
5.8	Cenário 3 - PROMETHEE II	38
5.9	Cenário 3 - GAIA	39
5.10	Resultados relativos ao perfil ambientalista - Cenário 4	40
5.11	Cenário 4 - PROMETHEE II	40
5.12	Resultados relativos ao perfil ambientalista condicionado - Cenário 1	41
5.13	Perfil ambientalista condicionado (PROMETHEE II e Plano GAIA) - Cenário 1	42
5.14	Resultados relativos ao perfil ambientalista condicionado - Cenário 2	43

5.15 Perfil ambientalista condicionado (PROMETHEE II e Plano GAIA) - Cenário 2	43
5.16 Resultados relativos ao perfil ambientalista condicionado - Cenário 3	44
5.17 Perfil ambientalista condicionado (PROMETHEE II e Plano GAIA) - Cenário 3	45
5.18 Resultados relativos ao perfil ambientalista condicionado - Cenário 4	46
5.19 Resultados relativos ao perfil indiferente - Cenário 1	47
5.20 Perfil indiferente (PROMETHEE II e Plano GAIA) - Cenário 1	47
5.21 Resultados relativos ao perfil indiferente - Cenário 2	48
5.22 Cenário 2 - GAIA	49
5.23 Resultados relativos ao perfil indiferente - Cenário 3	49
5.24 Cenário 3 - GAIA	50
5.25 Resultados relativos ao perfil indiferente - Cenário 4	51
5.26 Cenário 4 - GAIA	51
5.27 Retorno do investimento inicial - Segmento A	53
5.28 Retorno do investimento inicial - Segmento B	54
5.29 Retorno das emissões - Segmento B	54

Lista de Tabelas

1.1	Principais diferenças entre um carro híbrido, híbrido recarregável e elétrico. Fonte: CGD (2020) Carro híbrido, híbrido <i>plug-in</i> e elétrico: conheça as diferenças.	6
2.1	Tabela resumo - Aplicação de MCDA conjugada com a ACV.	11
3.1	Família de métodos PROMETHEE. Adaptado de: [30]	15
3.2	Tabela de avaliação. Adaptado de:[26]	16
3.3	Tabela de pesos relativos. Adaptado de:[26]	16
3.4	Funções de Preferência. Adaptado de:[26]	18
3.5	Tabela de avaliação. Adaptado de:[26]	22
4.1	Seleção das diferentes tecnologias em função da segmentação comercial de veículos	25
4.2	Critérios de avaliação selecionados	26
4.3	Resumo das características dos cenários em análise	27
4.4	Emissões e poder calorífico de 1L de gasolina	28
4.5	Emissões associadas à produção do chassis e bateria	28
5.1	Perfis utilizados no <i>software</i> VISUAL PROMETHEE	32
A.1	Ficha técnica - Veículos segmento A	64
A.2	Ficha técnica - Veículos segmento B	64
A.3	Ficha técnica - Veículos segmento C	65
A.4	Ficha técnica - Veículo segmento D	66
A.5	Ficha técnica - Veículos segmento E	66
A.6	ACV - Veículos segmento A	67
A.7	ACV - Veículos segmento B	68
A.8	ACV - Veículos segmento C	69
A.9	ACV - Veículos segmento D	70
A.10	ACV - Veículos segmento E	71
A.11	Características dos veículos comparados	72
A.12	Custos variáveis - Segmento A	73

A.13 Custos variáveis - Segmento B	74
A.14 Custos variáveis - Segmento C	75
A.15 Custos variáveis - Segmento D	76
A.16 Custos variáveis - Segmento E	77

1

Introdução

1.1 Motivação e Contexto

As emissões de CO₂ atmosférico, gás responsável pelas significativas alterações climáticas, estão fortemente associadas ao setor dos transportes. Em causa está a grande dependência que o setor apresenta do petróleo e seus derivados. Com base na análise da Figura 1.1 verifica-se uma tendência de descida das emissões de CO₂ nos setores da produção de energia, tanto elétrica como térmica, e que o mesmo acontece nos setores industrial e residencial. Contudo, no setor dos transportes assiste-se a um tendência de subida, contrastando, assim, com os setores mencionados anteriormente.

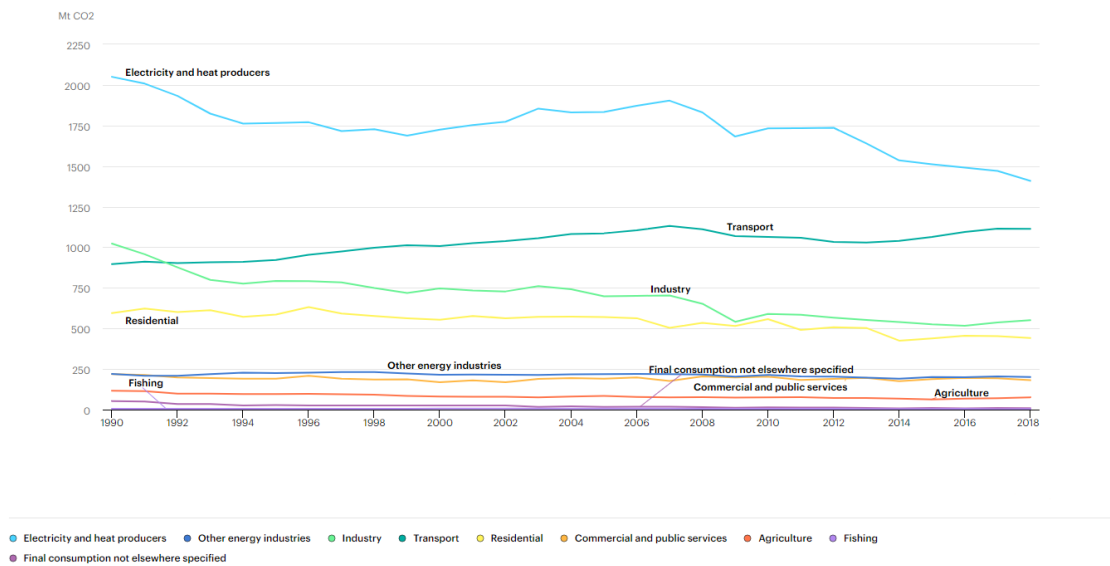


Figura 1.1: Emissões de CO₂, Europa 1990-2018.
Fonte: IEA (2020) CO₂ Emissions From Fuel Combustion

Nos últimos anos, tem-se assistido a um aumento considerável da eficiência dos motores a combustão interna. Contudo, o aumento do número de automóveis em circulação e a procura por veículos mais potentes anula por completo o impacto desse aumento de eficiência, conduzindo, deste modo, ao aumento das emissões de CO₂ no setor dos transportes.

Com o objetivo de reduzir a contribuição do setor dos transportes para as emissões de CO₂, o Conselho Europeu (CE) definiu novas regras a aplicar nos veículos de passageiros e comerciais. As emissões médias de CO₂ dos automóveis novos matriculados na União Europeia (UE) terão de ser inferiores em 15% em 2025 e inferiores a 37,5% em 2030, em comparação com limites de emissões válidos em 2021 [1].

Para que estas metas sejam cumpridas, o CE pretende criar um mecanismo de incentivo à venda de mais veículos com baixos (ou nulos) níveis de emissões, ou seja, veículos elétricos ou veículos híbridos recarregáveis [1]. Haverá também, uma maior monitorização das “emissões em condições reais de condução”. Para isso, a Comissão Europeia irá monitorizar os valores das emissões de CO₂ em função dos dados obtidos através de medidores de consumo de combustível instalados nos automóveis [1].

Tal como foi referido pelo CE ([1],[2]) uma das soluções para o problema das elevadas emissões de CO₂ no setor dos transportes poderá passar pelos veículos elétricos e pelos veículos híbridos recarregáveis. Estes veículos não apresentam emissões diretas durante a fase de uso propriamente dita, como é o caso dos veículos elétricos, ou então apresentam emissões bastante reduzidas, no caso dos veículos híbridos recarregáveis. Contudo, esta só é uma solução viável desde que, em paralelo com a eletrificação do setor dos transportes, haja um aumento das fontes de energia renovável para produção de energia elétrica. Assim, é necessário ter em conta qual o Balanço Energético da região ou país onde estes veículos irão operar.

O Balanço Energético de uma determinada região ou país resulta do peso das diferentes fontes de geração de energia que constituem o sistema electroprodutor em estudo. No caso português, à semelhança do que acontece por toda a União Europeia, verifica-se uma mudança de paradigma no que diz respeito à origem das principais fontes de geração de energia nas últimas duas décadas [3]. Desde 2005, existe um aumento da incidência de fontes de geração renovável, devendo-se este aumento, essencialmente, à introdução da energia eólica. Em sentido contrário estão as fontes de geração com base em combustíveis fósseis, que, desde 2017, apresentam uma clara tendência decrescente.

Em 2019, 47% da energia produzida era proveniente de recursos energéticos hídricos e eólicos. No total, as fontes de energia renovável apresentavam um peso de 55% da energia gerada [4].

1.2 Eletrificação do setor dos transportes

Os primeiros veículos elétricos (VE) surgiram no final do século XIX, contudo, as baterias e a rede elétrica da época encontravam-se muito pouco desenvolvidas e, em simultâneo, assistia-se a uma diminuição do preço do barril de petróleo. Todos estes fatores, juntamente com o desenvolvimento dos motores a combustão interna empurraram os VE para segundo plano.

Com o aumento do preço do petróleo e a ameaça iminente das alterações climáticas os VE ganharam um novo fôlego. Quando confrontados com estes dois problemas, os governos europeus reconheceram que os VE terão um papel preponderante no setor dos transportes, tornando-o assim mais sustentável. No entanto, o mercado dos VE, na Europa, ainda se encontra pouco desenvolvido e muito dependente de apoios financeiros. O número de veículos e modelos existentes ainda é bastante limitado e os que existem apresentam custos bastante elevados quando comparados com os veículos convencionais existentes. Para além disso, a rede elétrica e a infraestrutura de carregamentos ainda não se encontram preparadas para esta transição [5].

1.2.1 Um Mercado em Crescimento

Em 2010 apenas 17 000 VE estavam em circulação, contudo, até 2019 esse número aumentou para 7,2 milhões, dos quais aproximadamente metade na China.

De uma forma geral, em 2019, a venda de veículos ligeiros de passageiros diminuiu nos principais mercados mundiais. Apesar dessa diminuição e através da análise da Figura 1.2, verifica-se que a venda de VE apresenta uma tendência de crescimento. Este crescimento reflete-se em 2,6% do total de vendas. Na China este valor corresponde a 4,9% do total de vendas e na Europa 3,5%.

Global electric car stock, 2010-2019

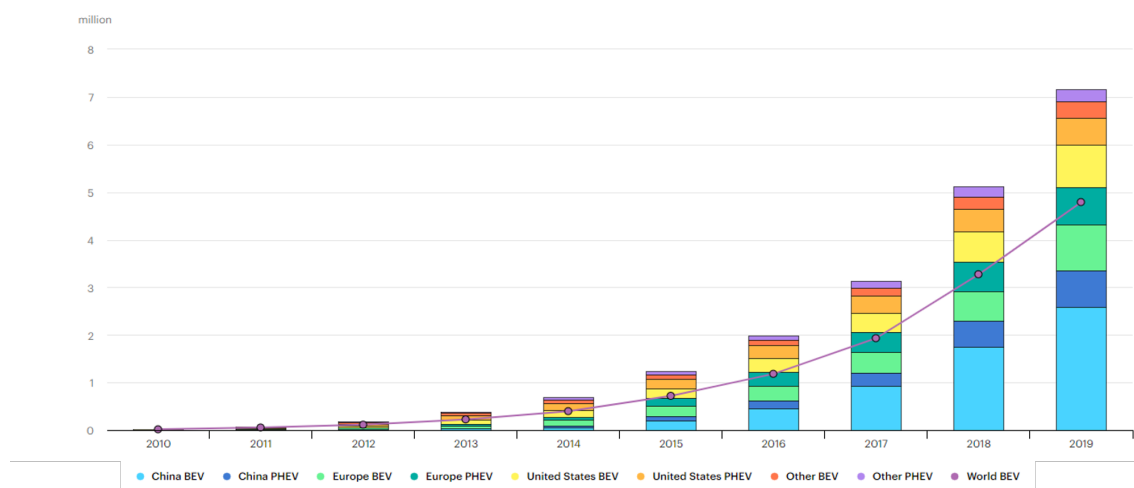


Figura 1.2: Veículos Elétricos em circulação, Mundo 2010-2019.

Fonte: IEA (2020) Global EV Outlook 2020

1.2.2 Impactos Ambientais

Apesar dos avanços tecnológicos, o setor dos transportes é ainda responsável por um quarto das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) na Europa. Dentro do setor dos transportes, os transportes rodoviários são responsáveis por 80% do total de emissões associadas a este setor [5]. Deste modo, a UE pretende cortar até 2030 40% dos níveis de

de emissões registados em 1990. No setor dos transportes espera-se que a diminuição seja de 60%, em comparação com os valores de 1990 até ao final de 2050 [5].

Espera-se que a mobilidade elétrica, especialmente em ambiente urbano, desempenhe um papel importante na diminuição das emissões de GEE no setor, desde que um determinado número de condições esteja reunido. Por exemplo, a energia necessária para a produção da bateria do VE, elemento cuja produção está associada a uma quantidade de emissões elevada, deve ser proveniente de fontes de energia renovável, bem como a energia utilizada por estes durante a fase de uso. Outros fatores, como a distância percorrida durante a fase de uso, o tamanho do veículo e o respetivo consumo energético podem afetar a quantidade de GEE emitida.

Da queima de combustíveis fósseis resulta um número de substâncias, entre as quais os NO_x (Óxidos de Nitrogénio) e outras partículas (PM), que afetam significativamente a qualidade do ar e a saúde. Os transportes rodoviários são responsáveis por 40% das emissões de NO_x na UE, a sua maioria provenientes dos veículos a gasóleo [5]. Os VE podem conduzir a uma melhoria considerável da qualidade do ar, devido à diminuição da queima de combustíveis fósseis, em particular se a energia produzida para abastecer este tipo de veículos for proveniente de fontes de energia renováveis [5].

1.2.3 Barreiras à Eletrificação dos Transportes

Um dos maiores problemas associados à disseminação dos VE é o facto de estes, muitas vezes, não terem a capacidade de percorrer grandes distâncias com apenas um carregamento, quando comparados com os veículos convencionais. Um outro problema é o reduzido número de postos de carregamento.

A UE e todos os seus estados-membros tomaram medidas com o intuito de aumentar o número de postos de carregamento existentes e consciencializar a população para a sua existência. No final de 2020 existiam cerca de 440 000 postos de carregamento públicos, o que equivale a um ponto de carregamento por cada cinco VE, e espera-se que este valor suba para os 2 milhões em 2025 [6][7][8].

As baterias apresentam um papel fulcral no que toca à transição para a mobilidade elétrica. Contudo, a exploração das matérias-primas necessárias poderá apresentar impactos ambientais, na saúde e, inclusive, levantar questões éticas. Assim, a UE pretende, tanto quanto possível, que a maioria das baterias seja produzida em solo europeu e que a matéria-prima usada na sua conceção seja também adquirida através de fontes presentes na Europa [9].

Substituir milhões de veículos a gasóleo e a gasolina por elétricos implica um aumento considerável de carga na rede elétrica, rede essa que já se encontra sob pressão em alguns pontos da UE. O VE, quando presente, é o dispositivo que apresenta maior consumo de energia no setor residencial. Em 2030 espera-se que 15% dos veículos em circulação na

UE sejam elétricos, isto resultará numa procura extra de energia a rondar os 95 TWh, ou seja, 3% da energia total consumida em 2030 [10]. Contudo, é possível diminuir o investimento a efetuar na rede elétrica alertando os consumidores para que procedam ao carregamento dos VE nos momentos menos inconvenientes para a rede elétrica e a um custo mais reduzido. Ainda assim, irão existir alterações imprescindíveis, em particular em locais com postos de carregamento de elevada potência. Os VE são vistos como um possível perigo para a rede elétrica devido ao aumento da carga a que esta é sujeita, porém os VE podem ao mesmo tempo fazer parte da solução. Os VE podem injetar parte da energia armazenada na sua bateria em períodos de elevada procura ou necessidade.

As autoridades locais, regionais e nacionais dos diferentes estados-membros da UE têm encorajado a compra de VE através de vários incentivos, nomeadamente, atribuindo 3 000€ na aquisição de veículos cujo valor de aquisição seja inferior a 62 500€. Para além disso, os VE encontram-se isentos de Impostos Sobre Veículos (ISV) e os Veículos Híbridos Recarregáveis (VHR) apresentam uma redução de 75%, desde que a autonomia, em modo elétrico, seja de pelo menos 25 quilómetros. Contudo, foi aprovada uma proposta para que esse benefício fiscal passasse a ser exclusivo para os veículos que emitam menos de 50 g/km de CO₂, com uma autonomia superior a 50 quilómetros. O resultado da proposta fez com que os VE continuem isentos, mas, nos outros casos, a redução de ISV passa a ser de 60% para os veículos elétricos híbridos (VEH) e de 25% para os VHR. Quanto ao Imposto Único de Circulação (IUC) apenas os VE estão isentos de pagamento, todos os restantes casos pagam este imposto, embora este valor seja inferior ao de um veículo com motor a combustão (VCI) [11][12].

1.3 Caracterização dos Diferentes Tipos de Veículos

Os veículos elétricos podem ser de diferentes tipos:

1. **Veículo elétrico (VE):** Veículo que apresenta como meio exclusivo de propulsão um ou mais motores elétricos. Esses motores são alimentados através de baterias que são carregadas quando ligadas à rede elétrica [13].
2. **Veículo elétrico híbrido (VEH):** Veículos que combinam um motor a combustão com um motor elétrico que é alimentado a partir da energia armazenada em baterias. A função do motor elétrico é otimizar a eficiência do motor a combustão [13].
3. **Veículo híbrido recarregável (VHR):** Veículos que combinam um motor elétrico alimentado por uma bateria com um motor a combustão. Os dois motores têm a possibilidade de operar tanto em conjunto como de forma independente [13].
4. **Veículo elétrico a células de combustível (FCEV):** Veículo que utiliza energia elétrica gerada através de uma mistura de hidrogénio com oxigénio atmosférico [13].
5. **Veículo elétrico com extensor de autonomia (VEx):** Idêntico ao VE, mas

incorpora um motor a combustão que serve de gerador para carregar as baterias do veículo em andamento [13].

Na Tabela 1.1 encontram-se, de forma resumida, as principais diferenças existentes entre os diversos tipos de veículos elétricos.

Tabela 1.1: Principais diferenças entre um carro híbrido, híbrido recarregável e elétrico.
Fonte: CGD (2020) Carro híbrido, híbrido *plug-in* e elétrico: conheça as diferenças.

	Híbrido	Híbrido Recarregável	Elétrico
Tipo de Motor	Motor a Combustão + Motor Elétrico	Motor a Combustão + Motor Elétrico	Motor Elétrico
Motor Elétrico Autônomo	Não	Sim	Sim
Autonomia	500km até mais de 800km	500km até mais de 800km (Combustão + Elétrico)	200km até 610km
Tempo de abastecimento/ carregamento	Rede ampla. Abastecimento e aumento de autonomia quase instantâneos	Rede ampla. Abastecimento e aumento de autonomia quase instantâneos	Rede em expansão. Carregamento demorado
Carregamento Elétrico	Não	Sim	Sim

1.4 Objetivos da dissertação

A realização desta dissertação teve como principal objetivo efetuar uma avaliação comparativa entre os VE e os veículos que utilizem tecnologias alternativas. Esta ordenação (da melhor alternativa para a pior) considera diferentes critérios de classificação, cada um com uma importância diferente em função do tipo de consumidor considerado.

Para o processo de ordenação dos veículos identificados foram considerados critérios de natureza técnica, económica e ambiental, resultando assim, num total de sete critérios de avaliação. Estes critérios são: a autonomia, aceleração, velocidade máxima e consumo, no que concerne aos critérios técnicos; custo de aquisição e custos variáveis (custos de manutenção e de operação) no que se refere aos critérios económicos; e, por fim, emissões de CO₂ no que diz respeito aos critérios ambientais.

A relevância dada a cada um destes critérios é feita em função do perfil de consumidor considerado. Estes perfis dividem-se em três: indiferente, em que é dada a mesma relevância a cada um dos critérios; ambientalista, em que é dada uma maior relevância ao critério de cariz ambiental; ambientalista condicionado, sendo dada a maior relevância aos critério de natureza ambiental e aos critérios de natureza económica (ambos com o mesmo peso).

A ordenação dos veículos selecionados é feita com recurso a uma metodologia baseada em análise multicritério, a metodologia PROMETHEE GAIA.

1.5 Estrutura da dissertação

O documento está organizado em seis capítulos. Neste capítulo inicial é realizado um enquadramento de toda a dissertação.

No segundo capítulo é feita uma revisão da literatura sobre as metodologias utilizadas na classificação dos diversos veículos ligeiros de passageiros no setor dos transportes.

No terceiro capítulo é descrita a metodologia *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE), que combina na sua utilização uma ferramenta de análise geométrica interativa (GAIA).

No quarto capítulo são reunidos os dados necessários para a realização da análise do caso de estudo, ou seja, selecionam-se os veículos que poderão constituir uma alternativa aos VCI. Selecionam-se também os critérios de avaliação a utilizar na análise e, por fim, realiza-se uma análise do ciclo de vida dos veículos selecionados.

No quinto capítulo são analisados os resultados obtidos com base na metodologia utilizada. São definidas as perspectivas de diferentes tipos de consumidor e, depois, recorrendo ao *software* VISUAL PROMETHEE são testados diferentes cenários. Para além disso, neste capítulo é também feita uma análise de retorno de investimento e de emissões.

O sexto capítulo apresenta conclusões face ao trabalho realizado, bem como propostas de trabalho futuras.

2

Revisão da literatura

Neste capítulo é apresentada a informação considerada relevante para a realização desta dissertação. O capítulo está organizado da seguinte forma: introdução às abordagens de avaliação do ciclo de vida de um determinado produto e o modo como estas abordagens podem ser conjugadas com métodos de apoio à decisão.

2.1 Métodos de avaliação do ciclo de vida

A utilização de abordagens que incluem a avaliação do ciclo de vida (ACV) são fundamentais para a análise energética e ambiental de cada uma das tecnologias.

Os impactos ambientais resultantes da atividade humana são facilmente quantificados quando é conhecida a quantidade de recursos e energia consumidos em cada etapa da vida de um determinado produto. Por isso, é importante que o processo de avaliação dos impactos das atividades humanas seja o mais abrangente possível. Desta forma, não devem ser apenas considerados os impactos causados pelo produto durante a sua utilização, mas sim, todos os impactos inerentes às restantes fases do ciclo de vida do produto, nomeadamente no fabrico, construção e distribuição do produto, bem como durante as fases de desmantelamento do mesmo.

Segundo a norma ISO 14040:2006 [14], a análise do ciclo de vida divide-se em quatro etapas - ver Figura 2.1:

- **Etapa 1:** Definição de objetivos e fronteiras do sistema: tem como objetivo definir qual o contexto do estudo bem como quais os limites do ciclo de vida do produto;
- **Etapa 2:** Nesta etapa é realizada uma análise do inventário onde são descritos todos os materiais e fluxos de energia envolvidos no sistema, estando também incluídas todas as interações com o ambiente;
- **Etapa 3:** Utilizando os dados da análise de inventário é possível, nesta etapa, detalhar e classificar as categorias de avaliação dos impactos;
- **Etapa 4:** Interpretação e análise crítica dos dados de forma a obter resultados.

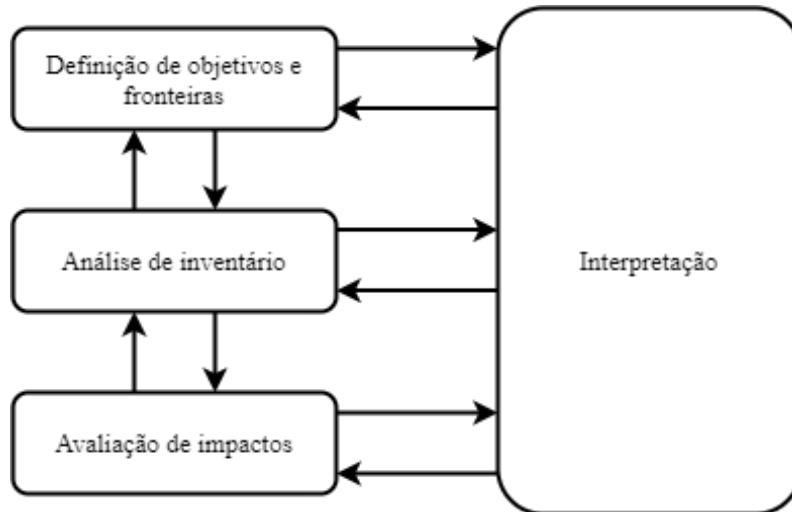


Figura 2.1: Fases da análise do ciclo de vida.

Existem duas variantes da ACV. A primeira, *cradle-to-grave*, realiza uma avaliação de todo o ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima e respetivo processamento, passando pela produção, transporte e utilização do produto e, por fim, tratamento de resíduos resultantes. A segunda, *cradle-to-gate*, apenas aborda as fases de extração da matéria-prima e produção, terminando no momento em que o produto sai da fábrica.

O indicador utilizado na análise conduzida neste trabalho, que visa quantificar o impacto ambiental durante o ciclo de vida de um determinado produto, denomina-se por potencial de aquecimento global (GWP). Este indicador mede as emissões de GEE associadas à produção de um determinado produto durante todas as etapas do seu ciclo de vida, ou seja, avalia qual a percentagem de emissões associadas ao produto que irão contribuir para o aquecimento global e consequentes efeitos associados às alterações climáticas. Por vezes, pode também ser definido como pegada ambiental [15].

Uma revisão da literatura sobre a utilização de ACV na análise e comparação de diferentes tecnologias utilizadas em veículos é apresentada em [16], [17], [18] e [19]. Estes estudos mostram que a maioria das avaliações de ciclo de vida se foca na comparação dos impactos ambientais causados por cada tipo de veículo. É possível verificar que as fases do ciclo de vida estudadas com maior pormenor e frequência estão relacionadas com a produção e o uso propriamente dito do veículo, deixando, geralmente, de fora a fase de deposição.

2.2 Aplicação de análises de apoio à decisão a ACV

A aplicação de metodologias de apoio à decisão multicritério (MCDA) conjuntamente com a ACV tem-se mostrado relevante na medida em que contribui para a avaliação de medidas de cariz ambiental mais abrangentes [20]. Geralmente, estes métodos permitem agregar vastas quantidades de informação e têm a capacidade contemplar critérios de

avaliação quantitativos e qualitativos. Para além disso, permitem reunir várias perspetivas, em função da atribuição de pesos relativos a cada um dos critérios [21].

Na Tabela 2.1 é possível encontrar um resumo dos trabalhos que conjugam a realização de uma ACV com a utilização de métodos de apoio à decisão.

Tabela 2.1: Tabela resumo - Aplicação de MCDA conjugada com a ACV.

Referência	Objetivo	Método	Critérios
[16]	Identificar quais as barreiras à eletrificação dos transportes e emissões associadas ao setor	ACV	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de combustível; • Distância Percorrida.
[22]	Analisar os impactos ambientais de diferentes veículos em função de diversos cenários (distância percorrida)	<ul style="list-style-type: none"> • ACV • Compromise • programming approach 	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de CO₂; • Consumo energético; • Matérias perigosas geradas; • Recursos florestais consumidos; • PIB; • Salários; • Pessoas empregadas;
[18]	Quantificar impactos técnicos, económicos e ambientais associados aos veículos elétricos e comparar com veículos convencionais	• ACV	<ul style="list-style-type: none"> • Ambiente de condução (Urbano/Misto); • Temperatura; • Tamanho; • Eficiência; • Autonomia; • Emissões de GEE; • Acidificação dos solos; • Eutrofização dos reservatórios de água; • Deterioração da camada de ozono;
[23]	Quantificar as emissões de CO ₂ associadas ao ciclo de vida de veículos híbridos e elétricos. Verificar se as emissões associada à fase de produção são compensadas durante a fase de uso.	ACV	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de CO₂
[19]	Quantificar as emissões de CO ₂ associadas ao ciclo de vida de veículos elétricos através de processos fabrico eficientes	ACV	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de CO₂
[24]	Análise das preferências dos consumidores ao nível dos veículos elétricos	Revisão da literatura	<ul style="list-style-type: none"> • Custo de aquisição; • Custos de operação; • Autonomia; • Tempo de carregamento; • Potência; • Aceleração; • Velocidade; • Emissões de CO₂;
[25]	Análise das emissões de GEE associadas a veículos ligeiros	ACV	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de GEE
[17]	Desenvolver uma metodologia capaz de classificar veículos em função dos seus impactos ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • ACV • MCDA (ELECTRE TRI) 	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de CO₂ • Acidificação • Eutrofização • Deterioração da camada de ozono • Potencial abiótico

Da análise dos estudos recolhidos pode concluir-se que o maior foco é dado às questões ambientais [19], [22], [23]. Enquanto que nos estudos que abordam em simultâneo critérios

económicos, técnicos e ambientais [18] não é feita uma análise que inclua os custos de aquisição dos veículos. Assim, e através da revisão da literatura realizada em [24], serão ainda considerados neste trabalho critérios que tenham em consideração as preferências do consumidor.

2.3 Metodologias de apoio à decisão multicritério (MCDA)

As metodologias MCDA permitem avaliar a performance de diferentes alternativas, de acordo com a consideração de múltiplos critérios, por vezes conflituosos. Estas metodologias dedicam-se, geralmente, a três tipos de problemas de decisão [26] [27]:

- **Classificação** - nos problemas de ordenação ou classificação ordinal, o objetivo é atribuir a um conjunto de alternativas, caracterizadas de acordo com determinados critérios, um conjunto predefinido e ordenado de classes;
- **Ordenação** - este tipo de problemas consiste em classificar todas as alternativas, da pior à melhor, considerando os seus desempenhos nos critérios definidos;
- **Seleção** - estes problemas visam identificar um subconjunto de alternativas, consideradas como a melhor escolha.

Os métodos MCDA consideram vários níveis de informação, quantitativa e qualitativa, bem como as preferências subjetivas dos decisores. Alguns aspetos importantes a ressaltar relativamente aos métodos MCDA são a seguir apresentados [28]:

- Facilitam a estruturação do problema;
- Contemplam explicitamente múltiplos objetivos, por vezes conflituosos, no processo de tomada de decisão;
- O principal objetivo dos métodos MCDA é ajudar os decisores a aprender sobre o problema, considerando os seus valores e julgamento;
- Facultam linhas orientadoras para a tomada de decisões fundamentadas em metodologias científicas;
- Apresentam abordagens concetualmente simples e transparentes.

A Figura 2.2 ilustra as etapas de um processo de tomada de decisão genérico.

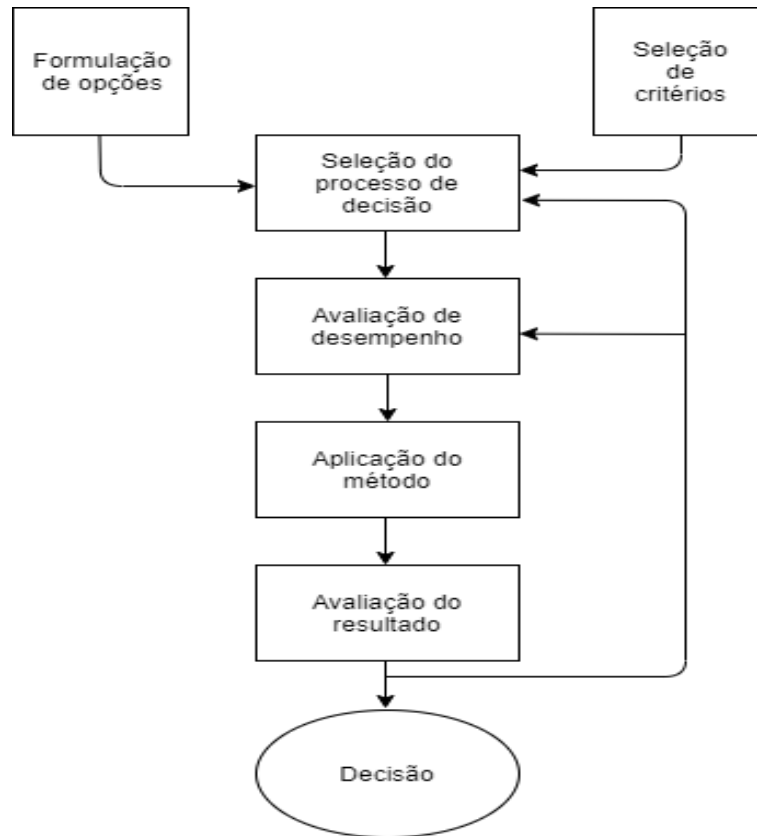


Figura 2.2: Etapas de um processo de tomada de decisão.

A metodologia MCDA utilizada neste trabalho insere-se nos problemas de ordenação, e destina-se a ordenar um conjunto finito de alternativas, i.e. de veículos de diferentes motorizações. A escolha do método PROMETHEE prende-se com a sua simplicidade em termos de conceção e aplicação, quando comparado com outros métodos [29]. Adicionalmente, o método PROMETHEE é combinado com o método GAIA, que se baseia no método de análise das componentes principais, permitindo obter uma representação gráfica dos resultados, proporcionando uma visão ilustrativa da conflitualidade existente entre os critérios [29].

3

Metodologia de avaliação

Neste capítulo é descrita a metodologia *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE) combinada com uma ferramenta de análise geométrica interativa (GAIA).

3.1 O método PROMETHEE

Os métodos descritos e apresentados neste capítulo baseiam-se nos trabalhos apresentados em [26]. Os métodos PROMETHEE I e II foram os primeiros desta família de métodos a serem desenvolvidos por Jean-Pierre Brans [30]. A Tabela 3.1 apresenta os métodos desta família que têm sido desenvolvidos deste então.

Tabela 3.1: Família de métodos PROMETHEE. Adaptado de: [30]

	Tipo de problema	Características
PROMETHEE I	Escolha	Pré-ordem parcial
PROMETHEE II	Ordenação	Pré-ordem completa
PROMETHEE III	Ordenação	Tratamento estocástico dos fluxos (preferência intervalar)
PROMETHEE IV	Escolha e ordenação	Conjunto contínuo de ações
PROMETHEE V	Ordenação	Pré-ordem completa incluindo restrições de segmentação
PROMETHEE VI	Escolha e ordenação	Pré-ordem completa ou parcial
PROMETHEE-GAIA	Extensão dos resultados do PROMETHEE	Procedimento visual e interativo

Considere o seguinte problema:

$$\max\{g_1(a), g_2(a), \dots, g_j(a), \dots, g_k(a) | a \in A\}, \quad (3.1)$$

onde A é um conjunto finito de alternativas $\{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$ e o conjunto de critérios de avaliação é dado por $\{g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_i(\cdot), \dots, g_k(\cdot)\}$.

Estes elementos podem ser ilustrados numa tabela contendo $n \times k$ avaliações. Cada linha corresponde a uma alternativa e cada coluna corresponde a um critério - ver Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Tabela de avaliação. Adaptado de:[26]

a	$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$	...	$g_j(\cdot)$	...	$g_k(\cdot)$
a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	...	$g_j(a_1)$	...	$g_k(a_1)$
a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	...	$g_j(a_2)$	...	$g_k(a_2)$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\ddots	\vdots
a_i	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	...	$g_j(a_i)$	...	$g_k(a_i)$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\ddots	\vdots
a_n	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	...	$g_j(a_n)$	...	$g_k(a_n)$

O método PROMETHEE envolve, numa primeira fase, a atribuição de pesos a cada critério, de forma a refletir a respetiva importância relativa.

Na Tabela 3.3, apresentam-se os pesos atribuídos $\{w_j, j=1, 2, \dots, k\}$ a cada critério.

Tabela 3.3: Tabela de pesos relativos. Adaptado de:[26]

$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$	...	$g_j(\cdot)$	...	$g_k(\cdot)$
w_1	w_2	...	w_j	...	w_k

Os pesos deverão ser números não negativos, independentemente das unidade de medida de cada critério. Quanto maior o valor atribuído a um critério, maior a sua importância. Geralmente, os pesos são normalizados, de tal modo que:

$$\sum_{j=1}^k w_j = 1 \quad (3.2)$$

A estrutura de preferências do método PROMETHEE baseia-se na comparação de duas alternativas. Neste caso, considera-se a diferença entre o desempenho de duas alternativas de acordo com um determinado critério. Quanto maior a diferença no desempenho, maior a preferência. Deste modo, é então possível obter a preferência de uma alternativa a relativamente a uma alternativa b , $P_j(a, b)$, que é função, F_j , da distância entre os desempenhos das alternativas no critério j , $d_j(a, b)$, da seguinte forma:

$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)] \quad \forall a, b \in A, \quad (3.3)$$

onde:

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (3.4)$$

e

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1. \quad (3.5)$$

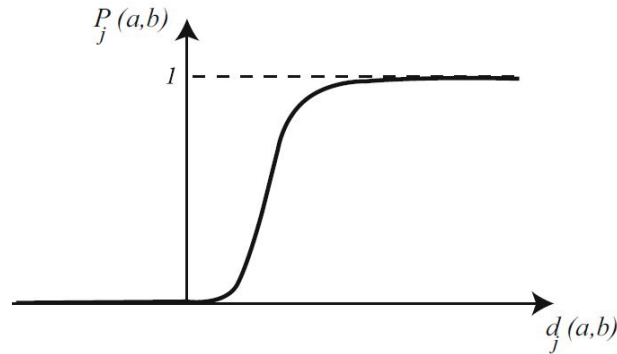


Figura 3.1: Função de Preferência. Adaptado de:[26]

Numa situação em que se pretende maximizar um determinado critério, a função de preferência de a relativamente a b dá-nos informação relativamente à diferença nos seus desempenhos no critério $g_j(\cdot)$. Uma função assim obtida pode ser a que é ilustrada na Figura 3.1. Caso a diferença no desempenho das alternativas seja negativa, então o nível de preferência é igual 0, verificando-se a seguinte propriedade:

$$P_j(a, b) > 0 \Rightarrow P_j(b, a) = 0 \quad (3.6)$$

Quando um determinado critério tem como sentido de preferência a minimização, a função de preferência é dada pela seguinte expressão:

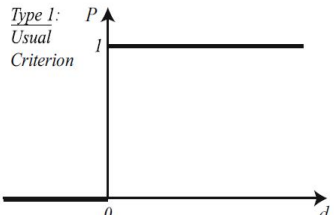
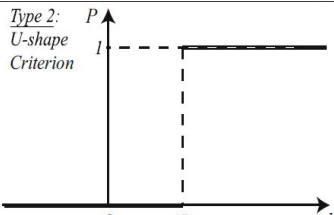
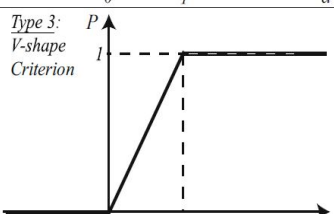
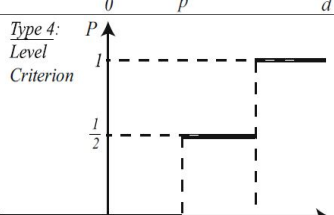
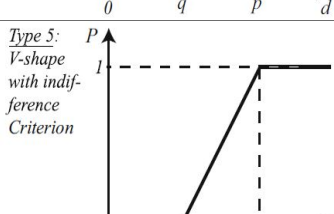
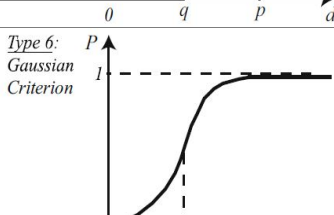
$$P_j(a, b) = F_j[-d_j(a, b)] \quad (3.7)$$

O par $\{g_j(\cdot), P_j(a, b)\}$ designa-se por critério generalizado associado ao critério $g_j(\cdot)$. Este critério generalizado tem que ser definido para todos os critérios. Para facilitar este processo, na Tabela 3.4 apresentam-se 6 funções de preferência diferentes. Para cada caso, é necessário definir 0, 1 ou 2 parâmetros com o seguinte significado:

- q é o limiar de indiferença;
- p é o limiar de preferência estrita $P_j(a, b) = 1$;
- s é um valor intermédio entre q e p .

O limiar de indiferença q corresponde ao maior desvio que o decisor considera negligenciável, enquanto que o limiar de preferência p é o menor desvio aceite para que o decisor manifeste uma preferência plena.

Tabela 3.4: Funções de Preferência. Adaptado de:[26]

Função de preferência	Representação	Parâmetros
<p><i>Type 1:</i> Usual Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	
<p><i>Type 2:</i> U-shape Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q
<p><i>Type 3:</i> V-shape Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p
<p><i>Type 4:</i> Level Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p,q
<p><i>Type 5:</i> V-shape with indifference Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p,q
<p><i>Type 6:</i> Gaussian Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	s

3.2 PROMETHEE I e II

3.2.1 Graus de preferência

Considere-se $a, b \in A$, e seja:

$$\begin{cases} \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j, \\ \pi(b, a) = \sum_{j=1}^k P_j(b, a)w_j, \end{cases} \quad (3.8)$$

onde $\pi(a, b)$ representa a preferência da alternativa a sobre a alternativa b , enquanto $\pi(b, a)$ representa a preferência da alternativa b sobre a alternativa a . Por norma, existe sempre um critério para o qual a alternativa a é melhor do que a alternativa b , e um critério em que a alternativa b é melhor do que a alternativa a . Por isso, tanto $\pi(a, b)$, como $\pi(b, a)$, assumem valores positivos. As propriedades seguidamente apresentadas verificam-se para todas as alternativas $a, b \in A$.

$$\begin{cases} \pi(a, a) = 0, \\ 0 \leq \pi(a, b) \leq 1 \\ 0 \leq \pi(b, a) \leq 1 \\ 0 \leq \pi(a, b) + \pi(b, a) \leq 1 \end{cases} \quad (3.9)$$

Então:

$$\begin{cases} \pi(a, b) \sim 0 & \text{implica uma fraca preferência de } a \text{ sobre } b \\ \pi(a, b) \sim 1 & \text{implica uma forte preferência de } a \text{ sobre } b \end{cases} \quad (3.10)$$

$P_j(a, b), P_j(b, a), \pi(a, b)$ e $\pi(b, a)$ são números reais.

Uma vez calculados $\pi(a, b)$ e $\pi(b, a)$ para cada par de alternativas de A , é possível ilustrar as respetivas relações de preferência - ver Figura 3.2.

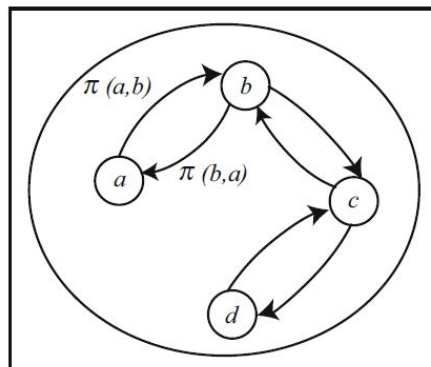


Figura 3.2: Relações de preferência. Adaptado de:[26]

3.2.2 Fluxos de Relevância

Cada alternativa a deve ser comparada com $n - 1$ alternativas em A . Considerem-se os seguintes fluxos de relevância:

- Fluxo de relevância positivo:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (3.11)$$

- Fluxo de relevância negativo:

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (3.12)$$

Os fluxos de relevância positivos expressam a intensidade com que uma alternativa se sobrepõe às restantes. Quanto maior for o valor de $\phi^+(a)$, melhor a alternativa - ver Figura 3.3a. Por outro lado, os fluxos de relevância negativos, expressam a intensidade com que uma alternativa é ultrapassada pelas restantes, ou seja, quanto menor o valor de $\phi^-(a)$, melhor é a alternativa - ver Figura 3.3b.

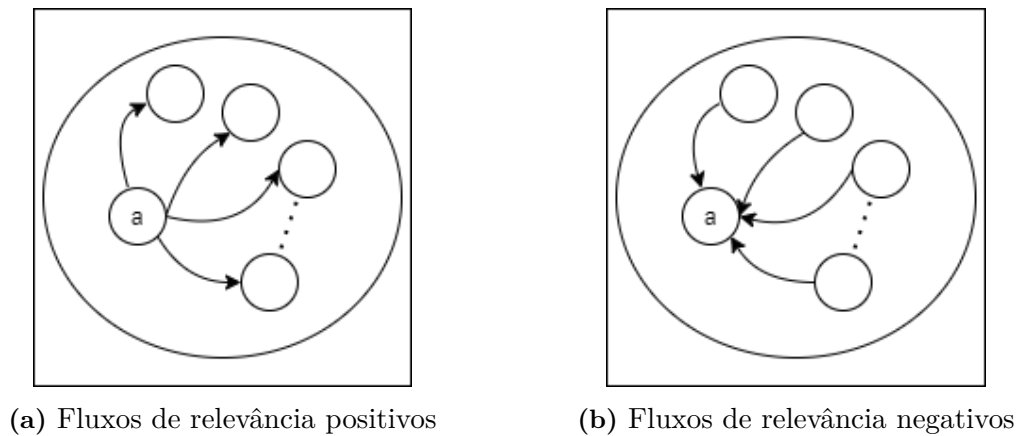


Figura 3.3: Fluxos de relevância. Adaptado de:[26]

3.2.3 PROMETHEE I - *Ranking* Parcial

O método PROMETHEE I considera apenas as preferências que são confirmadas com base na ordenação estabelecida pela intersecção de ambos os fluxos de relevância, da

seguinte forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} aPb \text{ se } \left\{ \begin{array}{l} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ ou} \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ ou} \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) = \phi^-(b); \end{array} \right. \\ aIb \text{ se } \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) = \phi^-(b); \\ aRb \text{ se } \left\{ \begin{array}{l} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) > \phi^-(b), \text{ ou} \\ \phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) < \phi^-(b); \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (3.13)$$

onde P , I e R representam, respetivamente, preferência, indiferença e incomparabilidade.

Quando aPb , há consistência na ordenação obtida através de ambos os fluxos de relevância. Quando aIb , ambos os fluxos de relevância obtêm o mesmo valor. Quando aRb , há inconsistência na ordenação obtida através de ambos os fluxos de relevância. Nesta situação, a informação obtida através dos fluxos de referência não é consistente e, por isso, as duas alternativas não são comparáveis. Por este motivo, o método PROMETHEE I permite obter apenas uma ordenação parcial, no sentido em que, quando duas ordenações não são consensuais para determinada alternativa, não é possível estabelecer qualquer comparação entre ações.

3.2.4 PROMETHEE II - *Ranking* Completo

O método PROMETHEE II utiliza o fluxo global, ou seja, a diferença entre o fluxo de relevância positivo, ϕ^+ , e o fluxo de relevância negativo, ϕ^- :

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (3.14)$$

Quanto maior o valor da diferença, melhor é alternativa:

$$\left\{ \begin{array}{l} aPb \text{ se } \phi(a) > \phi(b) \\ aIb \text{ se } \phi(a) = \phi(b) \end{array} \right. \quad (3.15)$$

Com o método PROMETHEE II todas as alternativas são comparáveis, contudo, há perda de informação associada à expressão 3.14. Neste contexto, o método PROMETHEE GAIA é utilizado para minimizar a perda de informação, partindo de uma representação multi-dimensional do problema de decisão. O objetivo deste método é ilustrar graficamente as principais características dos problemas de decisão, permitindo visualizar se as alternativas são dissemelhantes ou semelhantes, quais os critérios conflituosos, qual o impacto da ponderação atribuída aos critérios na ordenação obtida, entre outros aspetos [31].

3.3 PROMETHEE GAIA

O método PROMETHEE GAIA permite:

- representar os problemas graficamente, proporcionando informação adicional;
- fazer sobressair a dessemelhança entre as alternativas;
- identificar os critérios que entram em conflito entre si;
- atribuir pesos relativos a cada um dos critérios, de modo a refletir a respetiva importância relativa.

Tabela 3.5: Tabela de avaliação. Adaptado de:[26]

	$\phi_1(\cdot)$	$\phi_2(\cdot)$	...	$\phi_j(\cdot)$	...	$\phi_k(\cdot)$
a_1	$\phi_1(a_1)$	$\phi_2(a_1)$	...	$\phi_j(a_1)$	...	$\phi_k(a_1)$
a_2	$\phi_1(a_2)$	$\phi_2(a_2)$	...	$\phi_j(a_2)$	...	$\phi_k(a_2)$
...
a_j	$\phi_1(a_j)$	$\phi_2(a_j)$	...	$\phi_j(a_j)$	...	$\phi_k(a_j)$
...
a_n	$\phi_1(a_n)$	$\phi_2(a_n)$	...	$\phi_j(a_n)$	...	$\phi_k(a_n)$

A Tabela 3.5 é semelhante à Tabela 3.2, contendo informação adicional relativamente às funções de preferência definidas pelo decisor. Desta tabela resulta uma representação multidimensional, com tantas dimensões k quanto o número de critérios, e as alternativas são representadas sob uma nuvem de pontos. Nesta nuvem de pontos, as alternativas semelhantes ficam próximas umas das outras e, a sua localização no plano k -dimensional indica quais os seus pontos fortes e fracos. A Posição de cada umas das alternativas pode também mostrar o grau de conflitualidade entre critérios. Não obstante, quando estamos perante mais do que três critérios não é possível ilustrar graficamente o problema, havendo a necessidade de utilizar o método de Análise de Componentes Principais.

Desta, forma o plano GAIA permite a melhor representação bidimensional do problema, já que proporciona a seguinte informação [30]:

- alternativas, representadas através de pontos;
- critérios, representados por eixos;
- pesos relativos, representados pelos eixos de decisão.

3.4 Aplicação computacional *Visual PROMETHEE*

O *software* de apoio à decisão Visual PROMETHEE, pode ser obtido online gratuitamente em: <http://www.promethee-gaia.net/FR/visual-promethee.html>. Com base no seu manual de utilizador [31] é feito um breve resumo de como este *software* pode ser utilizado. Com esta ferramenta é possível:

- Avaliar várias alternativas em função de múltiplos critérios;
- Identificar a melhor alternativa;
- Classificar várias alternativas, desde a melhor até à pior;
- Ordenar objetos por classes (e.g. maus consumidores, bons consumidores, consumidores excepcionais);
- Visualizar problemas e respetivas soluções, compreendendo-se, assim, a dificuldade inerente ao processo de seleção;
- Obter soluções consensuais;
- Justificar ou invalidar decisões tomadas.

Através do menu "File | New", é possível introduzir um novo problema. Após selecionado este menu, surge uma janela (ver Figura 3.4) onde deve ser indicado o número de alternativas, critérios e cenários a ter em consideração.

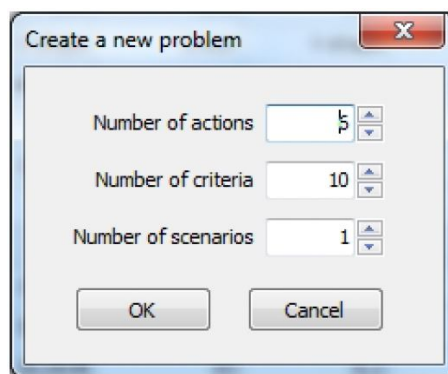


Figura 3.4: Introdução de um novo problema

No exemplo considerado, existem seis alternativas, dez critérios e um único cenário em estudo. Após definidos o número de alternativas, critérios e cenários, surge um novo painel, tal como indica a Figura 3.5.

Neste painel é possível alterar os nomes das alternativas, critérios e cenários:

- **Alternativas:** Abrir a página *Actions*, selecionando o menu "Model|Actions", ou então, clicando diretamente no botão da alternativa "action1";
- **Crítérios:** Abrir a página *Criteria*, selecionando o menu "Model|Criteria", ou então, clicando diretamente no botão do critério "criterion1";
- **Cenários:** Abrir a página *Scenarios*, selecionando o menu "Model|Scenarios", ou então, clicando diretamente no botão do cenário "Scenario1".

Após atribuir nomes a cada um dos critérios, é necessário atribuir, a cada um, a respetiva escala. Para tal, deve-se selecionar o menu "Model|Criteria", ou então, clicar diretamente no botão do critério "criterion1", selecionando-se em seguida a escala pretendida:

- **”currency”**, caso se esteja perante um critério Preço, por exemplo;
- **”qualitative”**, neste caso, irá surgir uma escala de cinco valores (Muito Bom, Bom, Mediano, Mau, Muito Mau);
- **”numerical”**, para os restantes casos.

Uma vez definidas as escalas, deve-se preencher a tabela com os valores correspondentes a cada alternativa.

The screenshot shows the 'Visual PROMETHEE Launch' software interface. The main window displays a configuration table for a scenario named 'Scenario1'. The table has columns for 'criterion1' through 'criterion10' and rows for various parameters. The 'Preferences' section is expanded, showing settings for Min/Max, Weight, Preference Fn., and Thresholds. The 'Statistics' and 'Evaluations' sections are also visible. The status bar at the bottom indicates 'Actions: 6 (6 active)', 'Criteria: 10 (10 active)', and 'Scenarios: 1 (1 active)'. The interface includes a menu bar (File, Edit, Model, Control, PROMETHEE-GAIA, GDSS, GIS, Custom, Assistants, Snapshots, Options, Help) and a toolbar with various icons.

Scenario1	criterion1	criterion2	criterion3	criterion4	criterion5	criterion6	criterion7	criterion8	criterion9	criterion10
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences										
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics										
Minimum	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Maximum	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Average	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Standard Dev.	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Evaluations										
action1	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
action2	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
action3	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
action4	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
action5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
action6	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Figura 3.5: Área de trabalho Visual PROMETHEE

Após preenchida a tabela, é possível agrupar as alternativas em categorias na página *Action Categories*, seleciona-se o menu "Model|Action Categories" e definem-se as categorias necessárias. O mesmo pode ser feito para os critérios na página *Clusters* através do menu "Model|Clusters".

Por fim, relativamente aos parâmetros de preferência de cada critério deve-se:

- definir se se pretende maximizar ou minimizar um determinado critério;
- escolher a respetiva função de preferência e, os respetivos limiares.

Isto é feito selecionando o critério a ajustar.

4

Preparação do caso de estudo

Neste capítulo serão apresentados os dados necessários para a análise do caso de estudo. Nas secções seguintes é feito o seguinte: selecionam-se os veículos que poderão constituir uma alternativa aos VCI; seleção dos critérios de avaliação a utilizar na análise; e, por fim, é feita a avaliação do ciclo de vida dos veículos selecionados no primeiro ponto.

4.1 Seleção de tecnologias alternativas aos VCI

Considerou-se inicialmente a divisão dos veículos de acordo com os segmentos habitualmente usados no setor para a diferenciação entre veículos, de modo a facilitar a seleção das tecnologias. Os segmentos são definidos com base em vários fatores; contudo, o comprimento do veículo é o que apresenta uma maior importância.

As tecnologias selecionadas, em função do segmento a que pertencem, são apresentadas na Tabela 4.1. Para a escolha das tecnologias apresentadas nesta tabela foram considerados os veículos mais vendidos no ano de 2020, de acordo com o respetivo segmento. Estas tecnologias foram já referenciadas no Capítulo 1.

Tabela 4.1: Seleção das diferentes tecnologias em função da segmentação comercial de veículos

Segmento	Características	Comprimento (m)	Tecnologias selecionadas	Referência bibliográfica
A	Económico - Citadino	3,3 a 3,7	VCI VE	[32]
B	Inferior - Utilitário	3,9 a 4,2	VCI VEH VE	[33]
C	Médio Inferior - Compacto	4,2 a 4,5	VCI VEH VHR VVE	[34]
D	Médio Superior - Familiar	4,5 a 4,6	VCI VEH VE	[35]
E	Superior - Executivo	4,6	VCI VEH VHR VE	[36]
F	Luxo		VCI VEH VHR	[37]

4.2 Critérios de Avaliação

Para além de critérios de natureza ambiental, selecionaram-se também critérios técnicos e económicos. Os critérios de cariz técnico permitem avaliar especificidades de cada tecnologia e comparar o desempenho das diferentes tecnologias em análise em termos de satisfação dos requisitos dos utilizadores. Estes critérios são a "Autonomia", a "Aceleração", a "Velocidade máxima" e "Consumo específico".

Os critérios económicos são o "Custo de Aquisição" e os "Custos Variáveis", onde estão incluídos os custos de manutenção e operação dos veículos. Com estes critérios pretende-se, não só classificar qual a tecnologia mais favorável a nível económico, mas também fazer uma comparação direta com os diferentes custos incorridos quando se opta por um VCI.

Por fim, as "Emissões de CO₂ durante o ciclo de vida" correspondem ao critério ambiental, já que se espera que estas tecnologias levem a uma diminuição das emissões de CO₂ no setor dos transportes.

Na Tabela 4.2, são indicados os sete critérios considerados e a respetiva escala de avaliação utilizada, o correspondente indicador e o sentido de preferência.

Tabela 4.2: Critérios de avaliação selecionados

Tipo de Critério	Critério	Escala	Indicador	Sentido de preferência	Referência bibliográfica
Técnico	Autonomia	Quantitativa	km	Maximização	[18][24]
	Aceleração	Quantitativa	s	Minimização	[24]
	Velocidade máxima	Quantitativa	km/h	Maximização	[24]
	Consumo específico	Quantitativa	kWh/100km	Minimização	[16][18][22]
Económico	Custo de aquisição	Quantitativa	€	Minimização	[24]
	Custos variáveis	Quantitativa	€/km	Minimização	[24]
Ambiental	Impactos ambientais	Quantitativa	kgCO ₂ /km	Minimização	[17][18][19][22][23][24][25]

Autonomia - Critério técnico, a maximizar, expresso em quilómetros.

Aceleração - Critério técnico, a minimizar e que reflete o tempo, em segundos, que o veículo necessita para ir dos 0 aos 100km/h.

Velocidade - Critério técnico, a maximizar. Este critério indica a velocidade máxima atingida pelos veículos em função das tecnologias neles utilizadas.

Consumo específico - Critério técnico, a minimizar. Expressa o consumo energético de cada veículo em função da tecnologia utilizada. Expresso em kWh/100km.

Custos de aquisição - Critério económico, a minimizar, expresso em euros e que representa o custo total de aquisição do veículo.

Custos variáveis - Critério económico, a minimizar. Expresso em euros, este critério inclui todos os gastos associados ao normal funcionamento do veículo, ou seja, gastos associados à manutenção dos veículos e despesas de combustível.

Impactos ambientais - Critério ambiental, a minimizar. Este critério indica a quantidade de emissões de CO₂ emitida por cada tecnologia durante o respetivo ciclo de vida. A unidade utilizada é o kgCO₂.

4.3 Avaliação do ciclo de vida das tecnologias selecionadas

Geralmente, quando se comparam veículos é utilizada uma abordagem *well to wheel*, que analisa apenas a fase de uso. Esta abordagem é adequada quando se comparam apenas VCI; contudo, quando são comparados VCI com VE deixa de o ser. Uma vez que não são consideradas as emissões durante os processos de produção de energia elétrica, os VE não apresentam emissão de poluentes na fase de uso, o que não é realista. Assim, a melhor abordagem a utilizar é a do tipo *cradle to grave*, ou seja, deve-se avaliar todo o ciclo de vida do veículo: produção, uso e deposição.

A análise a realizar deverá contemplar a forma como é feita a extração, o transporte, processamento de matérias-primas, produção de materiais e componentes a usar no veículo e respetiva montagem durante a fase produção. Por fim, na fase de uso serão analisados os consumos energéticos e emissões resultantes. Na realização deste trabalho não foram incluídos quais os impactos associados à fase de deposição dos veículos, uma vez que não existem ainda dados que permitam quantificar os impactos ambientais associados a esta fase.

O estudo irá considerar quatro cenários, que variam em função do número médio de quilómetros percorridos por ano e com a eventual necessidade de substituição da bateria, no caso dos VE. Na Tabela 4.3 encontram-se resumidas as características de cada um dos cenários.

Tabela 4.3: Resumo das características dos cenários em análise

Cenário	Distância (km)	Troca de Bateria
1	15 000	Não
2	75 000	Não
3	150 000	Não
4	150 000	Sim

Nesta análise compararam-se VE, VHR e VCI, de acordo com os respetivos segmentos comerciais. Para tal, foram selecionados os veículos mais vendidos no ano de 2020. As

características necessárias para a realização dos cálculos necessários são: consumo de combustível (l/km) e/ou energia elétrica (kWh/km), capacidade da bateria (kWh), emissões de CO₂ durante a fase de uso (g/km) e peso do veículo (kg). Estes valores foram obtidos através das fichas técnicas dos respetivos veículos disponibilizadas pelos fabricantes, podendo ser consultados nas Tabelas A.1, A.2, A.3, A.4 e A.5, facultadas em Apêndice.

4.3.1 Produção de gasolina

Até se encontrar disponível, a gasolina passa por um conjunto de etapas: extração, transporte e refinação do petróleo bruto e transporte da gasolina até ao ponto de abastecimento público [38].

Nesta análise, consideraram-se as emissões na produção de 1 litro de gasolina, bem como a energia nela contida. A gasolina utilizada nos cálculos possui 95 octanas. Em função do local em que é produzida, a constituição e o poder calorífico da gasolina variam. Assim, os valores utilizados referem-se aos valores de referência portugueses [39][40], sendo resumidos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Emissões e poder calorífico de 1L de gasolina

Emissões na produção	0,52 kg/CO ₂ /l
Poder calorífico	13 kWh/l

4.3.2 Produção de energia elétrica

Desde a sua produção, até se encontrar disponível nos postos de carregamento a energia elétrica passa pelas redes de energia.

Para saber qual a quantidade de emissões associada ao processo de produção de energia elétrica é necessário saber qual o balanço energético da zona em que o veículo irá operar. No caso português, este valor é de 0,275 kgCO₂/kWh e refere-se ao ano de 2019. [4].

4.3.3 Produção do veículo

Quanto aos processos de produção dos veículos, considera-se que são iguais no que diz respeito ao chassis. No caso dos VE e dos VHR, para além das emissões associadas à produção do chassis, consideram-se, também, as emissões resultantes do processo de produção das baterias. Os valores resumidos na Tabela 4.5 baseiam-se em [41], e correspondem às emissões produzidas durante produção de 1 kg de veículo e de 1 kWh de bateria.

Tabela 4.5: Emissões associadas à produção do chassis e bateria

Emissões para produção do chassis	4,5 kgCO ₂ /kg
Emissões para produção da bateria	2471,1 kgCO ₂ /kWh

4.3.4 Fase de uso do veículo

Durante a fase de uso do veículo é comum considerarem-se as emissões resultantes da utilização do veículo. Não obstante, nesta fase, devem também estar incluídos os impactos da produção do combustível e da energia elétrica gerada para abastecimento. Assim, deverá ter-se em consideração o balanço energético do local onde o veículo irá operar, bem como os consumos energéticos de cada veículo.

Estes valores encontram-se resumidos nas Tabelas A.1, A.2, A.3, A.4, A.5.

4.3.5 Fase de fim de vida

De acordo com vários autores, por exemplo [42][43], a reciclagem das baterias dos VE e VHR está ainda a ser estudada. Contudo, após cumprirem o seu papel, durante a fase de uso do veículo, as baterias podem ser reaproveitadas para outros fins, nomeadamente para armazenamento de energia em edifícios. Deste modo, a sua vida útil pode ser prolongada e os impactos ambientais causados durante a sua produção poderão ser mitigados.

Uma vez que não existem valores definitivos relativamente aos impactos ambientais das baterias durante a última fase do seu ciclo de vida, esta fase não foi considerada na análise realizada. Porém, é possível antecipar que possa ser ambientalmente impactante, sendo que a reciclagem das baterias dos VE deverá contribuir para reduzir a sua pegada ambiental.

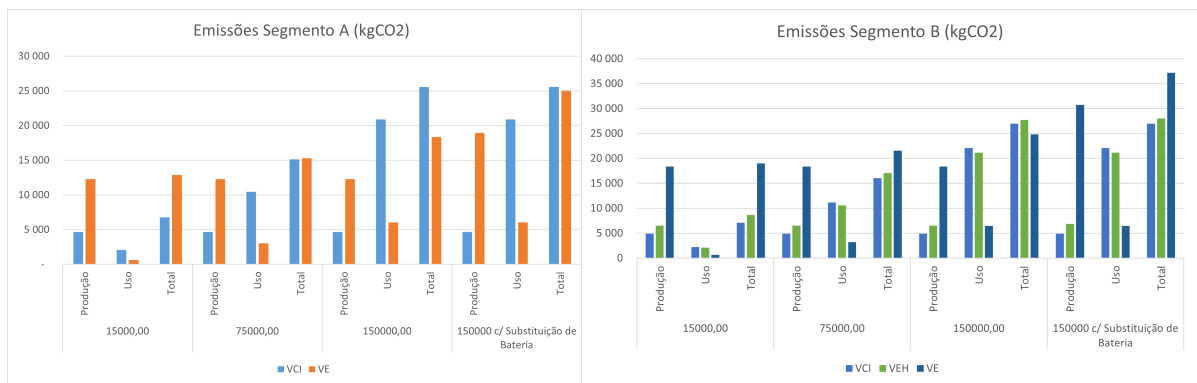
4.3.6 Valores apurados

Após uma breve análise das Figuras 4.1a, 4.1b, 4.1c, 4.1d e 4.1e verifica-se que os resultados obtidos para cada um dos segmentos é semelhante. Nestas figuras, encontram-se as emissões médias geradas em função do tipo de veículo dentro de cada segmento.

No caso dos veículos do Segmento A, as emissões associadas à fase de produção do veículo não variam, excetuando o cenário em que ocorre substituição da bateria, resultando num aumento das emissões associadas à fase de produção. Estes resultados eram expectáveis dado que, nesta fase, todos os veículos se encontram na mesma situação, ou seja, acabados de sair da fábrica e sem qualquer distância percorrida. No entanto, durante a fase de uso, verifica-se que, independentemente do cenário de distância percorrida, quer seja com ou sem substituição de bateria, no caso do cenário 4, as emissões variam. No caso dos VE as emissões associadas à fase de uso resultam, apenas, da produção de energia necessária para o seu abastecimento, enquanto que nos VCI resultam da produção de gasolina e dos gases resultantes da combustão da mesma enquanto o veículo opera. Deste modo, os VE apresentarem um total de emissões no seu ciclo de vida inferiores aos VCI para cenários em que a distância percorrida é superior, i.e. cenários 2 e 3.

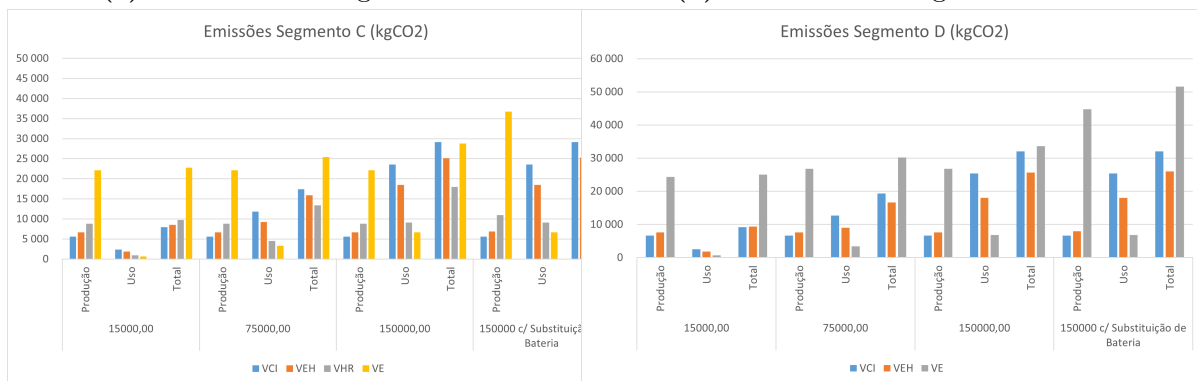
Nos restantes segmentos (B, C, D e E) verificou-se exatamente o mesmo, independentemente do cenário escolhido. Durante a fase de produção não há qualquer alteração das

emissões associadas à fase de produção, com exceção do cenário 4. Já durante a fase de uso é notório que as emissões associadas aos VE são inferiores às dos VCI, porém, para cenários em que a distância percorrida é inferior (Cenários 1 e 2) estas poupanças não compensam as emissões resultantes da fase de produção. Apenas no cenário em que a distância percorrida é de 150 000 quilómetros é que o total de emissões produzidas (fase de uso e produção) é inferior para o caso dos VE quando comparado com os VCI. No cenário 4 a distância percorrida é igual à do cenário 3, contudo, a emissão resultante da produção do segundo conjunto de baterias leva a um aumento das emissões durante a fase de produção e conseqüentemente o total de emissões é superior ao cenário anterior.



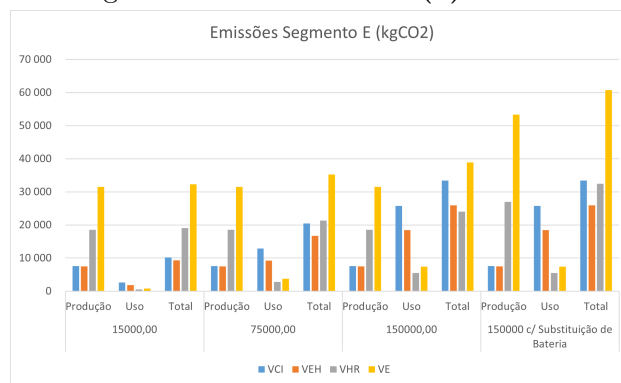
(a) ACV veículos segmento A

(b) ACV veículos segmento B



(c) ACV veículos segmento C

(d) ACV veículos segmento D



(e) ACV veículos segmento E

Figura 4.1: ACV dos diferentes tipo de veículo em função do seu segmento automóvel.

5

Aplicação da metodologia

Nesta capítulo descreve-se a aplicação da metodologia PROMETHEE na ordenação dos diferentes tipos de veículos, juntamente com a análise dos resultados obtidos. Tal como foi referido no Capítulo 3, o método a utilizar será o PROMETHEE GAIA, através do *software* VISUAL PROMETHEE.

5.1 Desempenho das tecnologias selecionadas

Os desempenhos das tecnologias selecionadas e descritas no Capítulo 1, em cada um dos sete critérios de classificação considerados, são dados nas Tabelas A.1 a A.16 em Apêndice.

5.1.1 Pesos e limiares de preferência usados no *software* VISUAL PROMETHEE

O método PROMETHEE permite atribuir maior ou menor importância a cada um dos critérios de avaliação através dos respetivos pesos relativos. Esta particularidade do método permite analisar o problema de ordenação em função do perfil de consumidor escolhido.

Na realização deste estudo serão considerados três tipos de consumidor distintos: Ambientalista - atribui preferência aos critérios de avaliação de cariz ambiental; Ambientalista condicionado - atribui igual preferência aos critérios ambientais e económicos; Indiferente - atribui o mesmo peso relativo a todos os critérios.

No que concerne às funções de preferência a utilizar, optou-se, para cada critério, por utilizar sempre a mesma função de preferência, isto é, a Função de Preferência Usual.

Os perfis utilizados no *software* VISUAL PROMETHEE, respetivos pesos relativos e funções de preferência são apresentado na Tabela 5.1

Tabela 5.1: Perfis utilizados no *software* VISUAL PROMETHEE

Perfis	Critérios		Peso Relativo	Função de Preferência
Ambientalista	Técnicos	Autonomia	0,0375	Usual
		Aceleração	0,0375	
		Velocidade máxima	0,0375	
		Consumo específico	0,0375	
	Económicos	Custo de aquisição	0,075	
		Custos variáveis	0,075	
Ambiental	Impactos ambientais	0,7		
Ambientalista condicionado	Técnicos	Autonomia	0,075	Usual
		Aceleração	0,075	
		Velocidade máxima	0,075	
		Consumo específico	0,075	
	Económicos	Custo de aquisição	0,175	
		Custos variáveis	0,175	
Ambiental	Impactos ambientais	0,35		
Indiferente	Técnicos	Autonomia	0,143	Usual
		Aceleração	0,143	
		Velocidade máxima	0,143	
		Consumo específico	0,143	
	Económicos	Custo de aquisição	0,143	
		Custos variáveis	0,143	
Ambiental	Impactos ambientais	0,143		

5.2 Análise de alguns resultados

5.2.1 Perfil de consumidor 'Ambientalista'

O primeiro perfil de consumidor a ser analisado será o "Ambientalista". Neste caso, atribui-se maior importância aos critérios de cariz ambiental, ou seja, ao critério **Impactos ambientais** (ver Tabela 5.1). Para além disso, foram também utilizados os cenários, em termos de distância percorrida pelos veículos durante a sua utilização, presentes na Tabela 4.3. Desta forma, pretende-se avaliar qual dos veículos é o mais indicado de acordo com os quilómetros percorridos.

Tal como referido anteriormente, o método PROMETHEE I contrasta dois tipos de ordenação, acabando por considerar apenas as preferências que são asseguradas em ambos os tipos de ordenação. Graficamente, Figura 5.1a, na barra lateral esquerda são classificadas as alternativas de acordo com os valores do $\phi^+(\cdot)$, enquanto que na barra lateral direita é estabelecida uma ordenação de acordo com os valores do $\phi^-(\cdot)$. Os melhores valores encontram-se no topo da barra a verde, enquanto os piores se situam na parte inferior a vermelho. Na parte central do gráfico é apresentada uma barra vertical que informa o valor do fluxo global $\phi(\cdot)$, que é posteriormente considerada no PROMETHEE II. Considerando $\phi^+(\cdot)$ uma medida de força e $\phi^-(\cdot)$ uma medida de fraqueza, quando uma linha

de ação (linha que atravessa a linha vertical ao centro do gráfico), está acima de outra, significa que a alternativa é superior nas diferentes formas de avaliação. Contudo, quando duas se cruzam, significa que há uma situação de incomparabilidade.

5.2.1.1 Cenário 1

Os resultados propostos pelo PROMETHEE I são apresentados na Figura 5.1. Da sua análise, verifica-se que os VCI, assinalados a cinzento, são de uma forma geral, a melhor opção já que apresentam valores superiores em ϕ^+ e valores inferiores em ϕ^- . Por outro lado, os VE (a verde) apresentam-se como a pior opção já que apresentam as piores classificações em ϕ^+ e ϕ^- . Isto deve-se à maior importância atribuída ao critério ambiental e à pequena distância percorrida pelos veículos. Neste cenário a distância percorrida é bastante reduzida, o que leva a que os impactos ambientais associados à fase de produção dos VE sejam superiores às poupanças conseguidas durante a fase de uso.

Reparemos agora nas alternativas Toyota Yaris e VW Polo (com rank 8 e 9 respetivamente), ambos VCI. Verifica-se que em ϕ^+ , o Toyota apresenta uma melhor avaliação do que o VW, contudo em ϕ^- acontece o contrário. Isto significa que estes dois veículos são incomparáveis. Apesar de o Toyota apresentar uma melhor avaliação nos critérios técnicos, no critério ambiental, o qual apresenta maior relevância, apresenta uma pior avaliação.

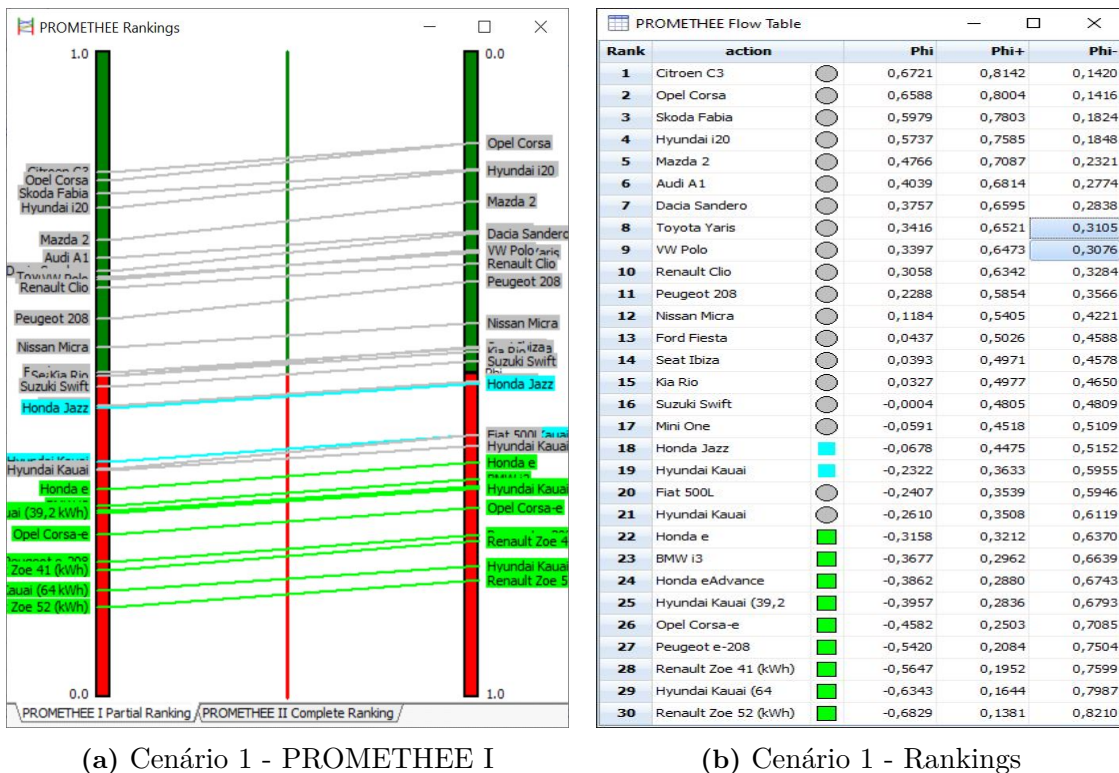


Figura 5.1: Resultados relativos ao perfil ambientalista - Rankings - Cenário 1

O PROMETHEE II é mais intuitivo do que PROMETHEE I, contudo ao fornecer menos informação não considera a incomparabilidade entre alternativas. Os resultados obtidos

usando o PROMETHEE II encontram-se na Figura 5.2 e confirmam as conclusões obtidas na análise anterior já que todos os VCI apresentam um valor de ϕ superior ao dos VE.

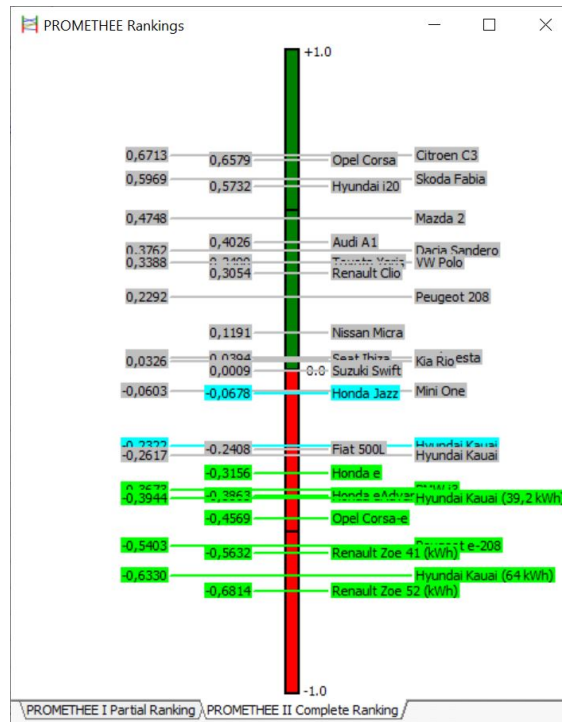


Figura 5.2: Cenário 1 - PROMETHEE II

Tal como foi referido anteriormente, no plano GAIA, as alternativas serão tanto mais semelhantes quanto mais próximas estiverem umas das outras. Através da análise da Figura 5.3, verifica-se que existe um grande número de VCI muito próximos uns dos outros (quadrante inferior esquerdo). Quanto aos VE também é notório um conjunto de alternativas semelhantes (quadrante inferior direito). Já o Hyundai Kauai VEH (a azul), encontra-se isolado dos demais. Considerando os vários critérios, verifica-se que o Dacia Sandero é aquele que apresenta menos custos de aquisição (Tabela A.2). Quando falamos de custos de operação, os VE são os veículos que apresentam os menores custos. Em sentido oposto, os veículos com uma maior velocidade de ponta são aqueles que apresentam maiores custos de operação, visto que nestes custos se incluem os custos de combustível e manutenção.

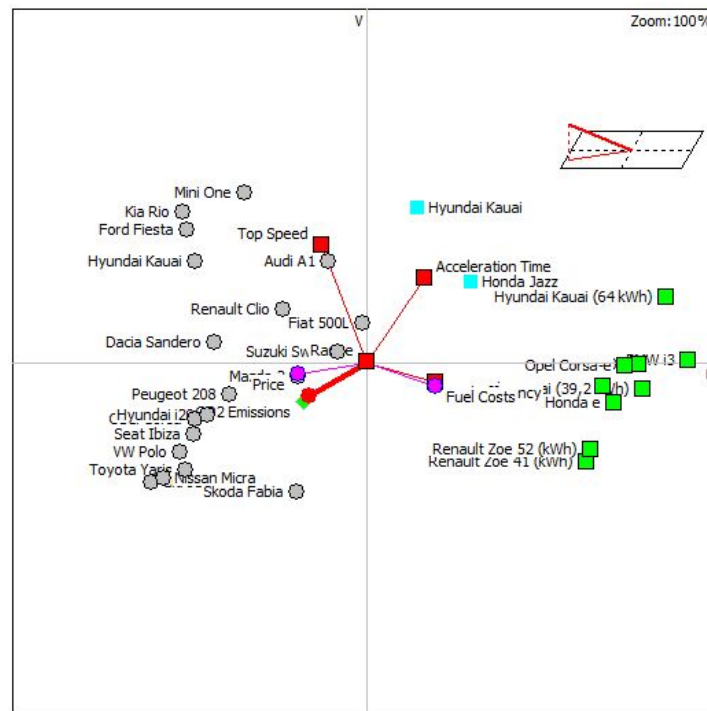


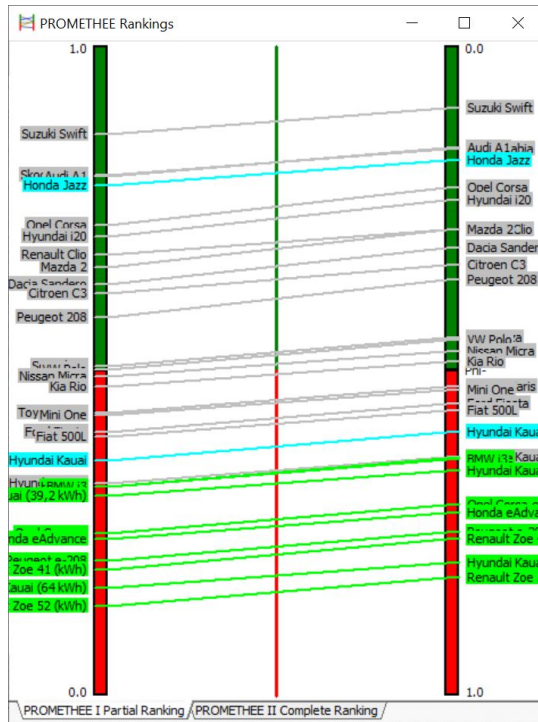
Figura 5.3: Cenário 1 - Plano GAIA

5.2.1.2 Cenário 2

Neste cenário consideramos uma distância percorrida que equivale a metade da vida útil de um veículo nos padrões portugueses (75 000 km). A partir da análise da Figura 5.4, verifica-se que os VCI continuam a ser a melhor opção e os VE a pior, já que as emissões associada à fase de construção são ainda superiores às poupanças conseguidas durante a fase de uso. Contudo, a classificação dos VEH melhorou, já que o seu valor de ϕ^+ passa de 0,4474 para 0,7872. O Suzuki Swift apresenta uma melhor classificação em ϕ^+ mas relativamente a ϕ^- apresenta a pior classificação de todas, ou seja, esta alternativa é incomparável com as restantes. Este resultado deve-se à maior relevância dada ao critério ambiental em que esta alternativa apresenta uma melhor classificação.

Também nesta situação, os resultados obtidos com o PROMETHEE II, Figura 5.5, confirmam os resultados obtidos na análise anterior.

Através do plano GAIA, Figura 5.6, verifica-se que as alternativas relativas aos VCI se encontram mais próximas uma das outras, o que demonstra que, entre si, tornaram-se ainda mais semelhantes. O mesmo acontece com os VE, e os VEH. À semelhança do que acontecia anteriormente, os VE continuam a ser os veículos com menores custos de operação. Contudo, tal como foi visto anteriormente, as emissões associadas à sua fase de produção são ainda superiores às poupanças conseguidas durante o uso. Este facto aliado a um maior peso relativo atribuído ao critério ambiental demonstra que para este cenário os veículos mais adequados continuam a ser os VCI.



(a) Cenário 2 - PROMETHEE I

PROMETHEE Flow Table

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Suzuki Swift	0,7724	0,8670	0,0946
2	Skoda Fabia	0,6454	0,8041	0,1587
3	Audi A1	0,6426	0,8008	0,1582
4	Honda Jazz	0,6115	0,7872	0,1757
5	Opel Corsa	0,5092	0,7269	0,2177
6	Hyundai i20	0,4720	0,7090	0,2370
7	Renault Clio	0,3974	0,6801	0,2827
8	Mazda 2	0,3778	0,6606	0,2828
9	Dacia Sandero	0,3222	0,6341	0,3119
10	Citroen C3	0,2842	0,6216	0,3374
11	Peugeot 208	0,2239	0,5843	0,3604
12	Seat Ibiza	0,0566	0,5071	0,4505
13	VW Polo	0,0500	0,5038	0,4538
14	Nissan Micra	0,0223	0,4926	0,4703
15	Kia Rio	-0,0117	0,4756	0,4873
16	Toyota Yaris	-0,0905	0,4362	0,5267
17	Mini One	-0,1010	0,4309	0,5320
18	Ford Fiesta	-0,1479	0,4056	0,5534
19	Fiat 500L	-0,1631	0,3992	0,5623
20	Hyundai Kauai	-0,2348	0,3621	0,5969
21	Hyundai Kauai	-0,3098	0,3265	0,6363
22	Honda e	-0,3134	0,3225	0,6359
23	BMW i3	-0,3158	0,3222	0,6380
24	Hyundai Kauai (39,2	-0,3452	0,3089	0,6541
25	Opel Corsa-e	-0,4564	0,2512	0,7077
26	Honda eAdvance	-0,4803	0,2411	0,7214
27	Peugeot e-208	-0,5405	0,2092	0,7497
28	Renault Zoe 41 (kWh)	-0,5641	0,1955	0,7596
29	Hyundai Kauai (64	-0,6311	0,1660	0,7971
30	Renault Zoe 52 (kWh)	-0,6820	0,1386	0,8206

(b) Cenário 2 - Rankings

Figura 5.4: Resultados relativos ao perfil ambientalista - Rankings - Cenário 2

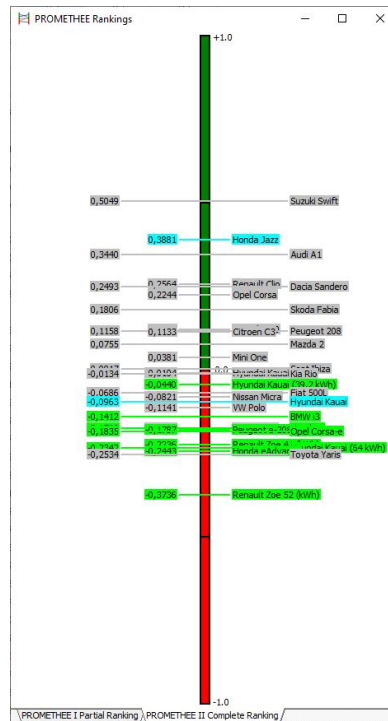


Figura 5.5: Cenário 2 - PROMETHEE II

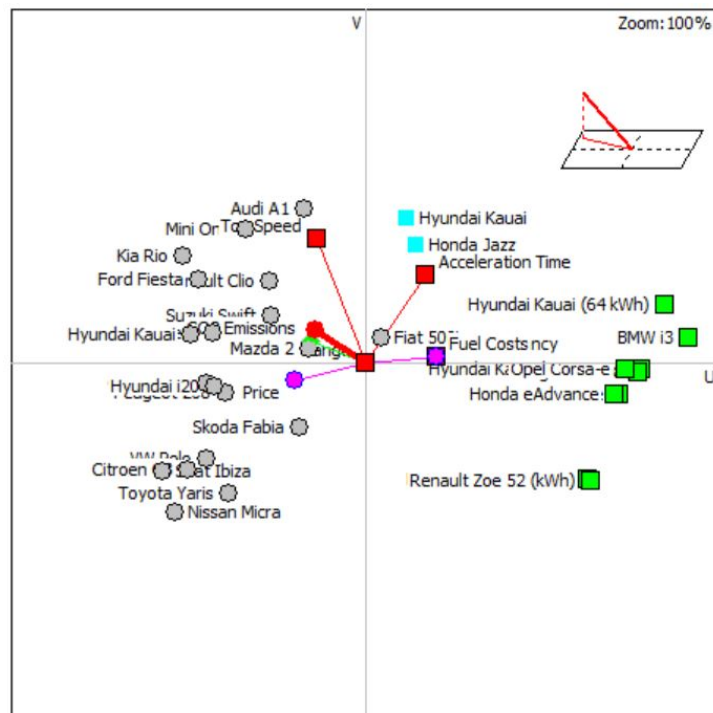
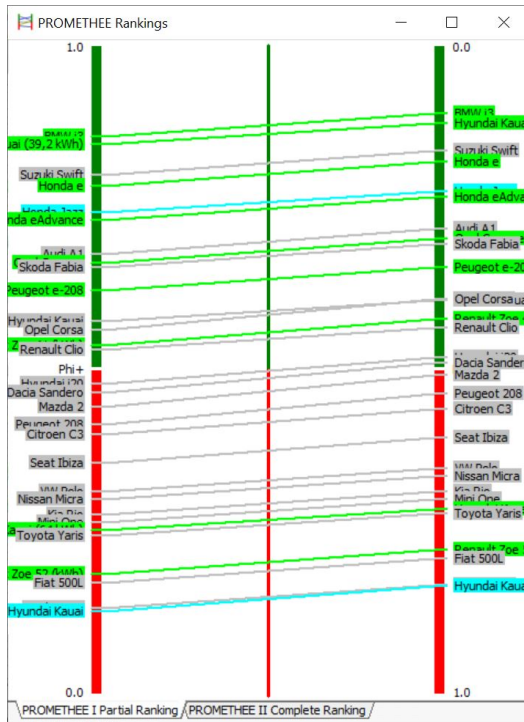


Figura 5.6: Cenário 2 - Plano GAIA

5.2.1.3 Cenário 3

Os resultados obtidos do cenário 3 (150 000km) são apresentados na Figura 5.7. Nesta situação, a maioria dos VE obtém melhor classificação do que os VCI, já que apresentam melhores resultados tanto em ϕ^+ como em ϕ^- . Estes resultados permitem concluir que as emissões associadas à fase de produção foram já, de uma forma geral, compensadas durante a fase de uso. Os VE que apresentam piores resultados são aqueles que apresentam baterias com capacidades superiores e, conseqüentemente, mais emissões associadas à fase de produção. À semelhança do que acontece com os dois cenários anteriores, os resultados obtidos através do PROMETHEE II, Figura 5.7a, confirmam os resultados obtidos pelo PROMETHEE I.

Através do plano GAIA, Figura 5.9, verifica-se, mais uma vez que as alternativas relativas aos VCI se encontram mais próximas uma das outras, o que demonstra que, entre si, tornaram-se ainda mais semelhantes. O mesmo verifica-se com os VE. Agora, é notório que os VE são os veículos mais apelativos em termos ambientais, continuando a apresentar os custos de operação mais baixos, resultando, assim, na melhor opção.



(a) Cenário 3 - PROMETHEE I

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	BMW i3	0,7446	0,8526	0,1080
2	Hyundai Kauai (39,2	0,7166	0,8400	0,1233
3	Suzuki Swift	0,6259	0,7926	0,1667
4	Honda e	0,5929	0,7758	0,1830
5	Honda Jazz	0,5126	0,7379	0,2253
6	Honda eAdvance	0,4870	0,7236	0,2366
7	Audi A1	0,3910	0,6739	0,2828
8	Opel Corsa-e	0,3639	0,6616	0,2977
9	Skoda Fabia	0,3400	0,6503	0,3103
10	Peugeot e-208	0,2800	0,6197	0,3397
11	Hyundai Kauai	0,1743	0,5687	0,3944
12	Opel Corsa	0,1653	0,5565	0,3912
13	Renault Zoe 41 (kWh)	0,1122	0,5339	0,4217
14	Renault Clio	0,0968	0,5300	0,4332
15	Hyundai i20	-0,0046	0,4748	0,4794
16	Dacia Sandero	-0,0213	0,4638	0,4852
17	Mazda 2	-0,0655	0,4404	0,5060
18	Peugeot 208	-0,1199	0,4139	0,5338
19	Citroen C3	-0,1615	0,3976	0,5591
20	Seat Ibiza	-0,2496	0,3542	0,6038
21	VW Polo	-0,3372	0,3117	0,6489
22	Nissan Micra	-0,3624	0,2991	0,6615
23	Kia Rio	-0,4001	0,2802	0,6803
24	Mini One	-0,4196	0,2705	0,6901
25	Hyundai Kauai (64	-0,4417	0,2609	0,7026
26	Toyota Yaris	-0,4751	0,2440	0,7191
27	Renault Zoe 52 (kWh)	-0,5789	0,1891	0,7680
28	Fiat 500L	-0,6024	0,1785	0,7808
29	Hyundai Kauai	-0,6812	0,1377	0,8190
30	Ford Fiesta	-0,6820	0,1400	0,8219

(b) Cenário 3 - Rankings

Figura 5.7: Resultados relativos ao perfil ambientalista - Cenário 3

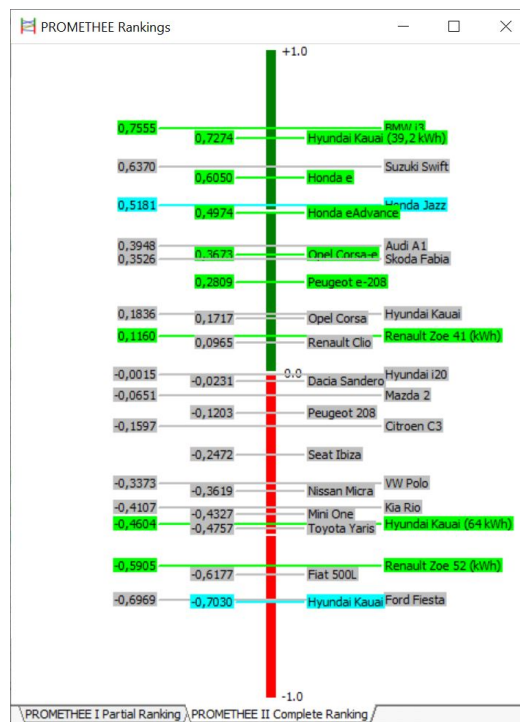


Figura 5.8: Cenário 3 - PROMETHEE II

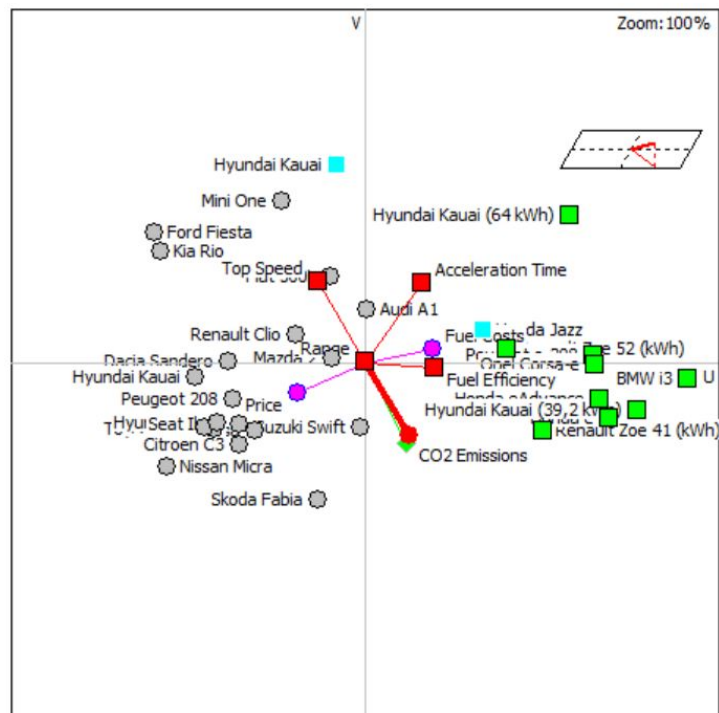


Figura 5.9: Cenário 3 - GAIA

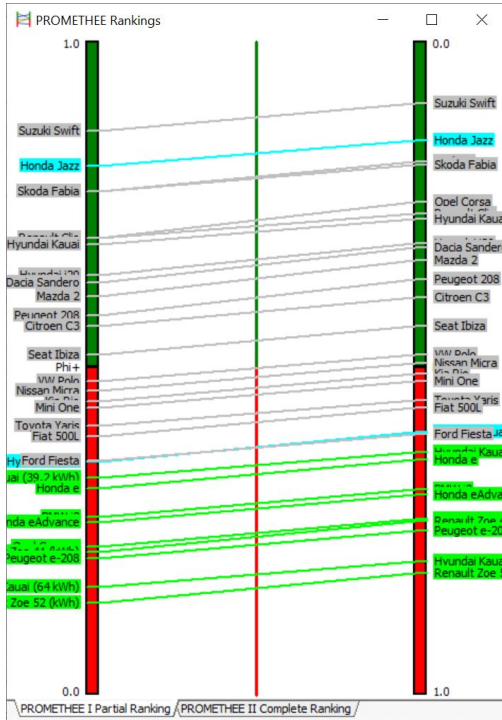
5.2.1.4 Cenário 4

Neste cenário, a distância percorrida considerada é de 150 000 quilómetros, tal como no cenário 3, e é ensaiada a necessidade de substituição da bateria dos VE. Analogamente ao que foi observado no Capítulo 4, esta substituição resulta num aumento significativo das emissões associadas aos VE, bem como um acréscimo dos custos de aquisição.

Da análise da Figura 5.10, verifica-se que os resultados são semelhantes aos obtidos nos cenários 1 e 2, ou seja, os VCI apresentam uma melhor avaliação já que apresentam valores superiores de ϕ^+ e valores inferiores de ϕ^- . Este resultado deve-se ao aumento das emissões na fase de produção da segunda bateria.

Com este cenário é possível concluir que em caso de avaria das bateria dos VE e, conseqüente, necessidade de substituição das mesmas, os VE deixam de ser uma alternativa aos VCI de um ponto de vista ambiental. Já os VEH, que apresentam baterias de reduzida capacidade, podem constituir uma alternativa desde que apresentem consumos inferiores aos VCI. Em média, os VCI analisados apresentam um consumo de 0,7 kWh/km e os VEH 0,6 kWh/km.

Os resultados obtidos com o PROMTHEE II suportam os resultados na análise anterior já que o valor dos fluxos globais dos VCI são superiores aos valores dos VE.



(a) Cenário 4 - PROMETHEE I

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Suzuki Swift	0,7682	0,8630	0,0948
2	Honda Jazz	0,6465	0,8041	0,1576
3	Audi A1	0,5892	0,7722	0,1831
4	Skoda Fabia	0,5846	0,7719	0,1873
5	Opel Corsa	0,4530	0,6996	0,2466
6	Renault Clo	0,4346	0,6982	0,2636
7	Hyundai Kauai	0,3891	0,6754	0,2863
8	Hyundai i20	0,3324	0,6425	0,3100
9	Dacia Sandero	0,3159	0,6317	0,3158
10	Mazda 2	0,2773	0,6110	0,3338
11	Peugeot 208	0,2171	0,5816	0,3645
12	Citroen C3	0,1739	0,5646	0,3907
13	Seat Ibiza	0,0856	0,5211	0,4355
14	VW Polo	-0,0001	0,4795	0,4796
15	Nissan Micra	-0,0261	0,4665	0,4927
16	Kia Rio	-0,0605	0,4493	0,5098
17	Mini One	-0,0751	0,4420	0,5171
18	Toyota Yaris	-0,1379	0,4119	0,5498
19	Fiat 500L	-0,1605	0,3987	0,5592
20	Hyundai Kauai	-0,2425	0,3564	0,5989
21	Ford Fiesta	-0,2450	0,3577	0,6027
22	Hyundai Kauai (39,2	-0,2975	0,3322	0,6297
23	Honda e	-0,3195	0,3189	0,6384
24	BMW i3	-0,4136	0,2727	0,6863
25	Honda eAdvance	-0,4252	0,2668	0,6920
26	Renault Zoe 41 (kWh)	-0,4950	0,2295	0,7245
27	Opel Corsa-e	-0,5094	0,2242	0,7336
28	Peugeot e-208	-0,5448	0,2065	0,7513
29	Hyundai Kauai (64	-0,6410	0,1605	0,8015
30	Renault Zoe 52 (kWh)	-0,6736	0,1409	0,8146

(b) Cenário 4 - Rankings

Figura 5.10: Resultados relativos ao perfil ambientalista - Cenário 4

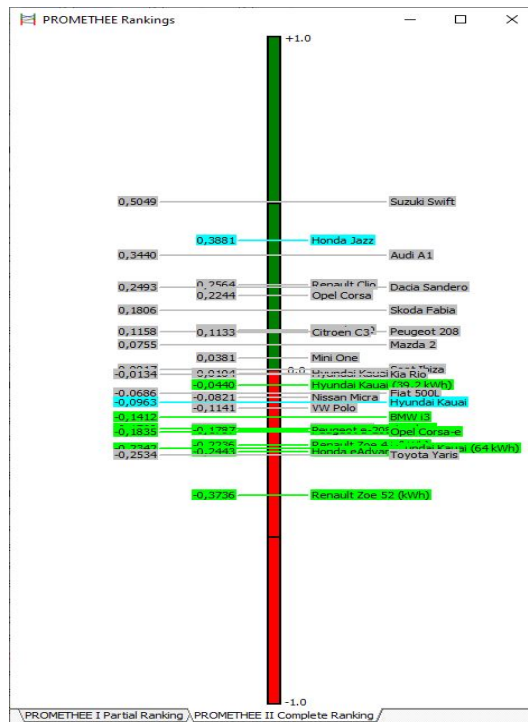


Figura 5.11: Cenário 4 - PROMETHEE II

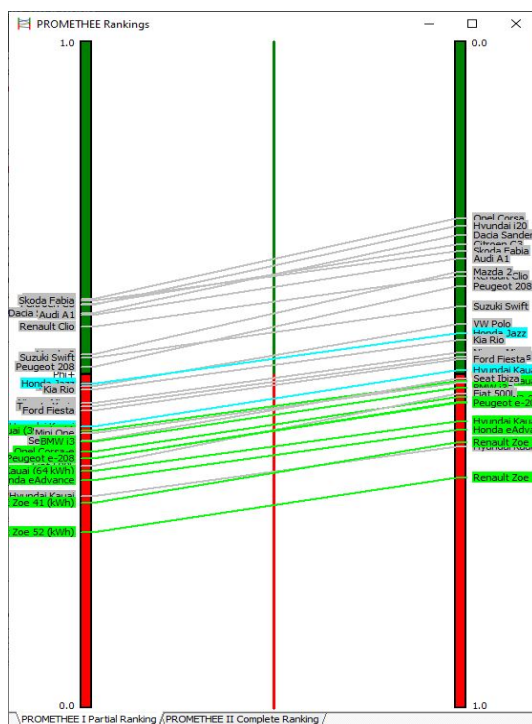
5.2.2 Perfil de consumidor 'Ambientalista Condicionado'

O perfil 'Ambientalista Condicionado' pretende retratar a maioria dos consumidores, ou seja, consumidores que começam a ter em consideração preocupações ambientais, mas que estão limitados pelo seu poder económico. Assim, os critérios de avaliação com maior importância são: **Impactos durante o ciclo de vida** e os dois critérios económicos, **Custos de aquisição** e **Custos variáveis**. O pesos relativos atribuídos a cada um destes critérios encontram-se na Tabela 5.1.

5.2.2.1 Cenário 1

Neste cenário, mais uma vez, os VCI surgem com uma melhor avaliação, já que apresentem valores superiores de ϕ^+ e valores inferiores em ϕ^- . Em sentido contrário, surgem os VE com valores de ϕ^+ inferiores e valores de ϕ^- superiores.

Com recurso ao PROMETHEE I (Figura 5.12) foi possível identificar alguns veículos incomparáveis. Reparemos no caso do Citroen C3 e do Dacia Sandero (rank 3 e 4 respetivamente). O Citroen aparece melhor avaliado em ϕ^+ em comparação com o Dacia, contudo, em ϕ^- acontece o inverso. Isto deve-se à maior importância atribuída aos critérios ambientais e económicos. No campo dos económicos, o Dacia apresenta os menores custos de aquisição, já no campo ambiental o Citroen surge como o veículo com menos emissões associadas. Conclui-se, assim, que, para estas duas alternativas, os dois critérios entram em conflito, daí a sua incomparabilidade.



(a) Cenário 1 - PROMETHEE I

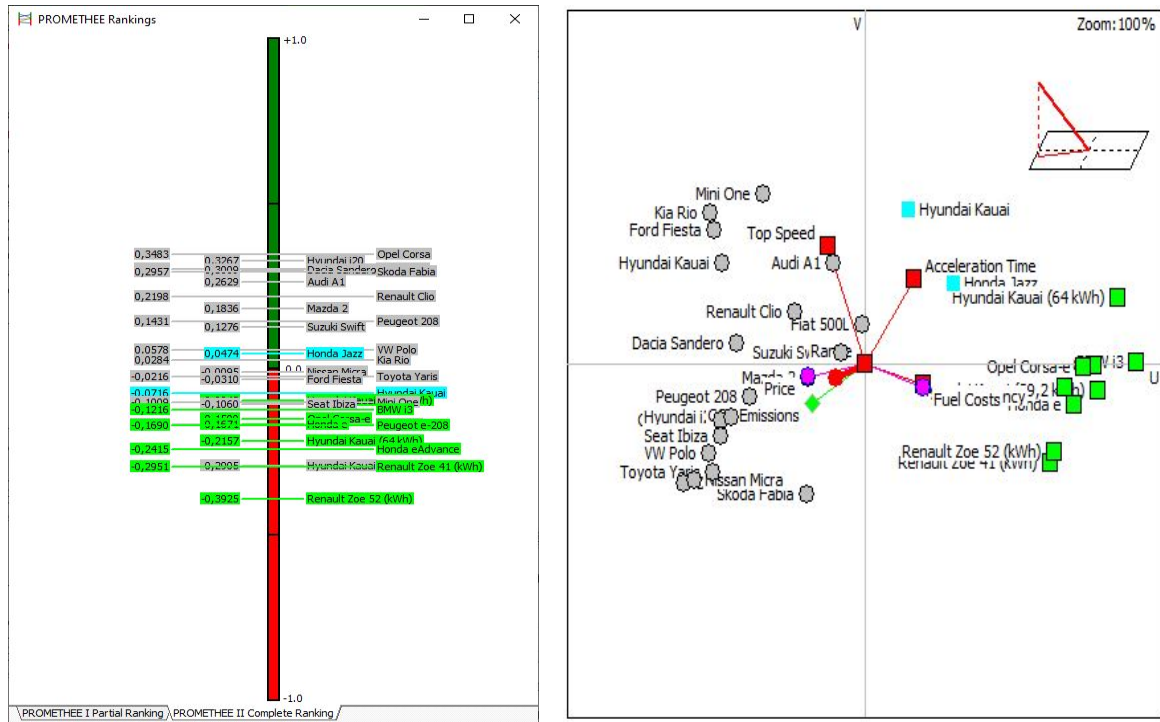
Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Opel Corsa	0,3484	0,6137	0,2653
2	Hyundai i20	0,3264	0,6040	0,2776
3	Citroen C3	0,3013	0,6057	0,3044
4	Dacia Sandero	0,2996	0,5906	0,2910
5	Skoda Fabia	0,2964	0,6105	0,3141
6	Audi A1	0,2644	0,5902	0,3258
7	Renault Clio	0,2200	0,5723	0,3523
8	Mazda 2	0,1851	0,5307	0,3457
9	Peugeot 208	0,1421	0,5106	0,3685
10	Suzuki Swift	0,1263	0,5242	0,3979
11	VW Polo	0,0579	0,4826	0,4248
12	Honda Jazz	0,0480	0,4863	0,4383
13	Kia Rio	0,0278	0,4762	0,4484
14	Nissan Micra	-0,0112	0,4567	0,4679
15	Toyota Yaris	-0,0209	0,4519	0,4728
16	Ford Fiesta	-0,0311	0,4455	0,4765
17	Hyundai Kauai	-0,0709	0,4226	0,4935
18	Hyundai Kauai (39,2)	-0,0944	0,4153	0,5097
19	Mini One	-0,0999	0,4124	0,5123
20	Seat Ibiza	-0,1069	0,4003	0,5072
21	BMW i3	-0,1206	0,3994	0,5200
22	Opel Corsa-e	-0,1503	0,3833	0,5336
23	Fiat 500L	-0,1660	0,3630	0,5290
24	Honda e	-0,1663	0,3744	0,5406
25	Peugeot e-208	-0,1696	0,3736	0,5432
26	Hyundai Kauai (64)	-0,2157	0,3548	0,5705
27	Honda eAdvance	-0,2405	0,3417	0,5822
28	Hyundai Kauai	-0,2904	0,3171	0,6075
29	Renault Zoe 41 (kWh)	-0,2957	0,3064	0,6021
30	Renault Zoe 52 (kWh)	-0,3930	0,2623	0,6552

(b) Cenário 1 - Rankings

Figura 5.12: Resultados relativos ao perfil ambientalista condicionado - Cenário 1

A aplicação do PROMETHEE II (Figura 5.13a) suporta os resultados anteriormente obtidos, ou seja, os VCI aparecem com uma melhor avaliação do que os VE. Porém, com este método deixa de ser possível identificar quais as alternativas incomparáveis.

Através do plano GAIA verifica-se que existem diversas alternativas semelhantes no campo dos VCI, alternativas essas que surgem bem avaliadas segundo o critério ambiental e o critério ‘Custos de Aquisição’. Tal como acontece no caso do perfil ambientalista, também aqui os VE aparecem como sendo os veículos com menores custos de operação.



(a) Cenário 1 - PROMETHEE II (b) Cenário 1 - GAIA

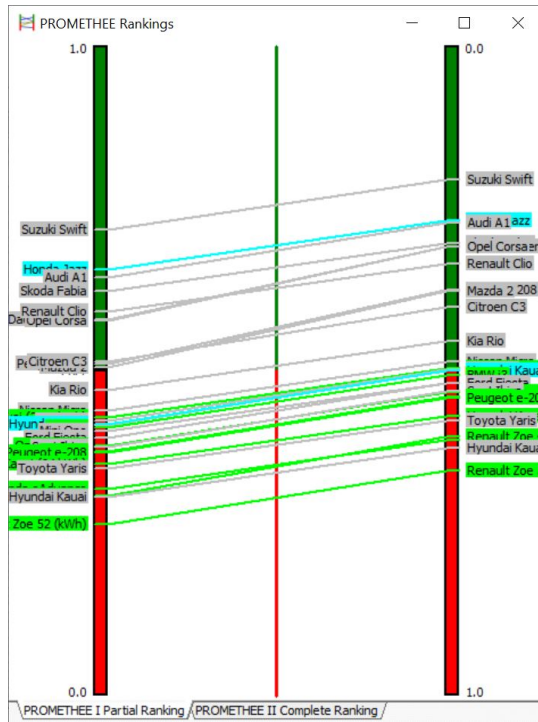
Figura 5.13: Perfil ambientalista condicionado (PROMETHEE II e Plano GAIA) - Cenário 1

5.2.2.2 Cenário 2

Analogamente ao cenário anterior, os VCI aparecem melhor avaliados em relação aos VE e os VEH, em particular o Honda Jazz, apresentam também uma boa avaliação tanto em ϕ^+ como em ϕ^- . Neste cenário foi possível encontrar também algumas alternativas que são incomparáveis entre si (Figura 5.14).

Também nesta situação o PROMETHEE II (Figura 5.15a) suporta os resultados obtidos pelo PROMETHEE I, mesmo que não seja possível apurar com este método quais as alternativas incomparáveis.

Com a análise disponibilizada pelo plano GAIA (Figura 5.15b) foi possível suportar, graficamente, as conclusões apuradas com o PROMETHEE I.

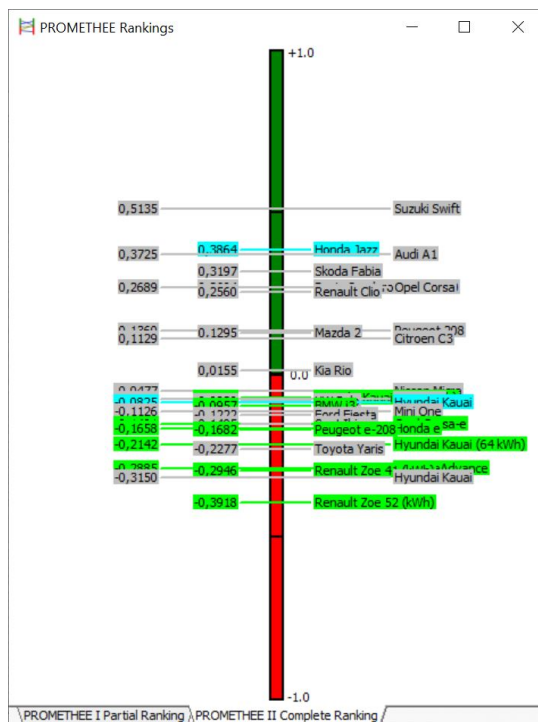


(a) Cenário 2 - PROMETHEE I

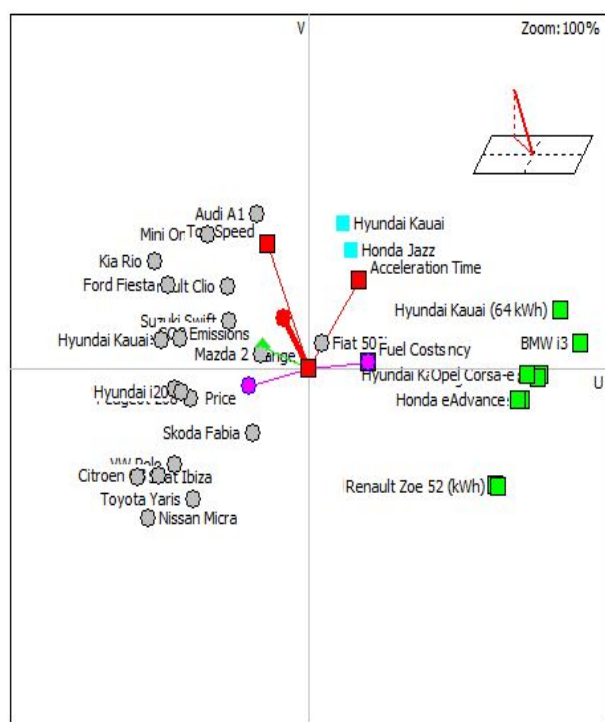
Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Suzuki Swift	0,5141	0,7195	0,2054
2	Honda Jazz	0,3861	0,6568	0,2707
3	Audi A1	0,3723	0,6456	0,2732
4	Skoda Fabia	0,3191	0,6233	0,3042
5	Hyundai i20	0,2723	0,5813	0,3090
6	Dacia Sandero	0,2712	0,5807	0,3096
7	Opel Corsa	0,2696	0,5786	0,3090
8	Renault Clio	0,2565	0,5920	0,3355
9	Peugeot 208	0,1369	0,5123	0,3754
10	Mazda 2	0,1292	0,5071	0,3780
11	Citroen C3	0,1139	0,5164	0,4024
12	Kia Rio	0,0173	0,4724	0,4551
13	Nissan Micra	-0,0467	0,4404	0,4871
14	Hyundai Kauai (39,2)	-0,0698	0,4290	0,4988
15	Fiat 500L	-0,0758	0,4245	0,5003
16	VW Polo	-0,0820	0,4171	0,4991
17	Hyundai Kauai	-0,0827	0,4181	0,5007
18	BMW i3	-0,0970	0,4126	0,5096
19	Mini One	-0,1123	0,4076	0,5199
20	Ford Fiesta	-0,1210	0,3989	0,5199
21	Seat Ibiza	-0,1494	0,3834	0,5328
22	Opel Corsa-e	-0,1496	0,3850	0,5346
23	Honda e	-0,1671	0,3753	0,5424
24	Peugeot e-208	-0,1685	0,3756	0,5441
25	Hyundai Kauai (64)	-0,2150	0,3565	0,5715
26	Toyota Yaris	-0,2280	0,3497	0,5777
27	Honda eAdvance	-0,2898	0,3184	0,6082
28	Renault Zoe 41 (kWh)	-0,2957	0,3078	0,6034
29	Hyundai Kauai	-0,3148	0,3063	0,6211
30	Renault Zoe 52 (kWh)	-0,3932	0,2635	0,6567

(b) Cenário 2 - Rankings

Figura 5.14: Resultados relativos ao perfil ambientalista condicionado - Cenário 2



(a) Cenário 2 - PROMETHEE II



(b) Cenário 2 - GAIA

Figura 5.15: Perfil ambientalista condicionado (PROMETHEE II e Plano GAIA) - Cenário 2

5.2.2.3 Cenário 3

Dos resultados obtidos pelo método PROMETHEE I (Figura 5.16), verifica-se que, para uma distância percorrida de 150 000 quilómetros, os VE tornam-se os veículos melhor avaliados, já que, de um modo geral, apresentam valores de ϕ^+ superiores e valores de ϕ^- inferiores, quando comparados com os restantes veículos. Estes resultados demonstram que, após percorridos 150 000 quilómetros, as emissões associadas à fase de produção são já compensadas pela fase de uso.

Verificam-se também algumas situações de incomparabilidade entre VCI e VE. A título de exemplo, vejamos o caso do BMW i3 e do Suzuki Swift. O Suzuki apresenta um valor de ϕ^- inferior ao do i3 e no caso de ϕ^+ acontece a mesma situação. Neste caso, o total de emissões associadas ao i3 é inferior; porém, este veículo apresenta um custo de aquisição muito superior ao do Swift. Conclui-se, deste modo, que estes dois veículos são incomparáveis.

Através da Figura 5.17a verifica-se, novamente, que os resultados obtidos com o PROMETHEE II suportam a análise realizada anteriormente, mesmo que não seja possível, com este método, identificar casos de incomparabilidade.

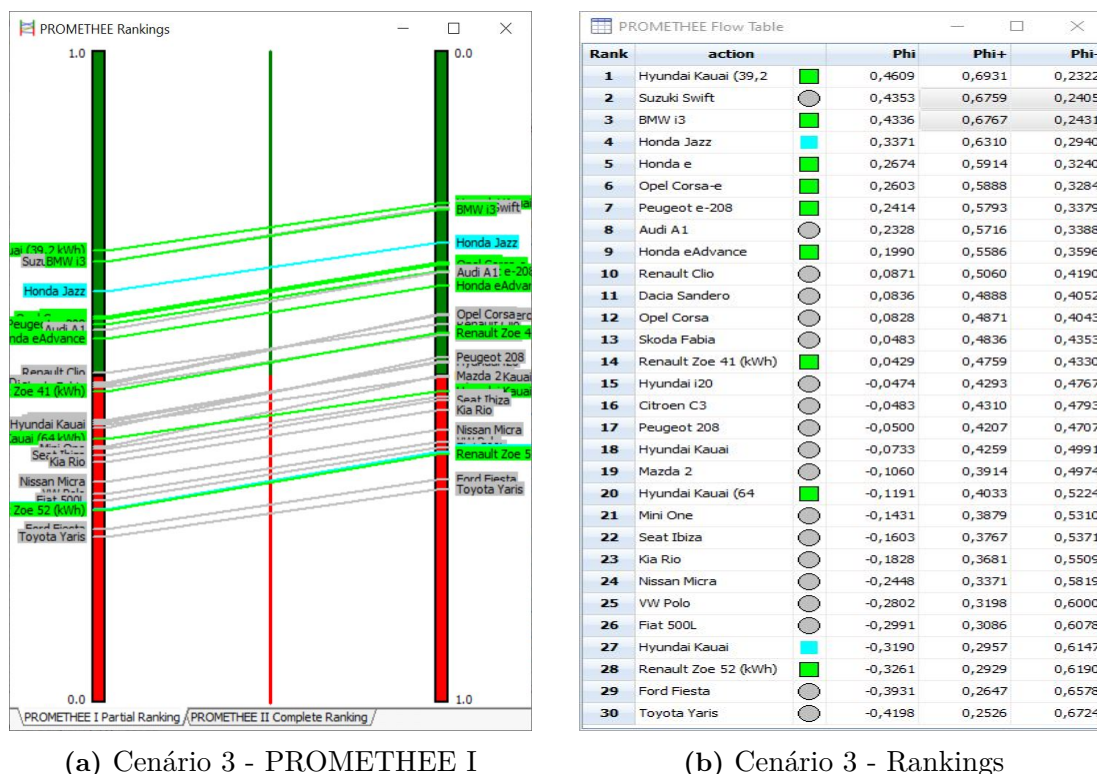
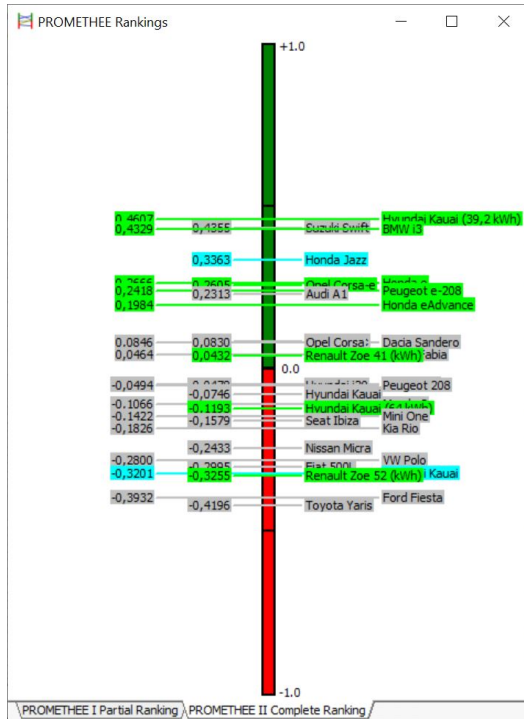


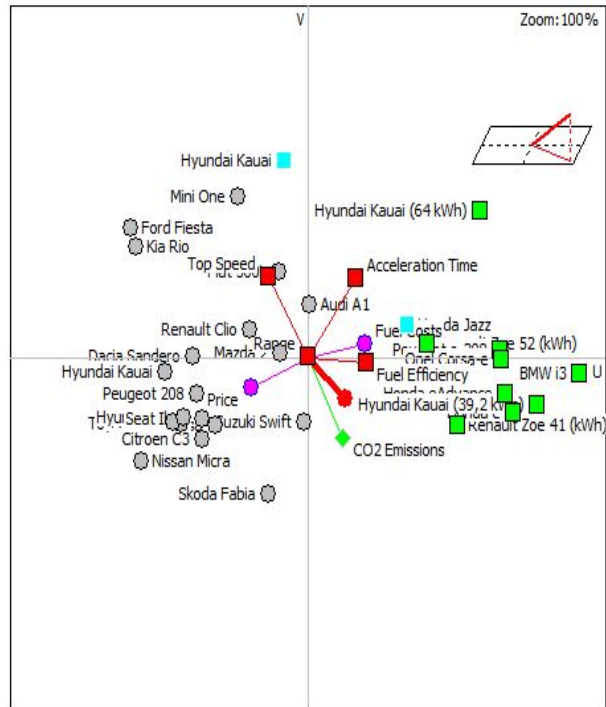
Figura 5.16: Resultados relativos ao perfil ambientalista condicionado - Cenário 3

Com base na análise realizada através do plano GAIA (Figura 5.17b) verifica-se que, para a distância de 150 000 quilómetros, as alternativas começam a ser muito semelhantes. Os VCI encontram-se muito próximos uns dos outros, e seguem a orientação do eixo relativo

ao critério “Custo de aquisição”. O mesmo acontece com os VE. Contudo, estes últimos seguem a orientação do critério ambiental e do critério “Custos de operação”, sendo, por este motivo, considerados a melhor opção.



(a) Cenário 3 - PROMETHEE II



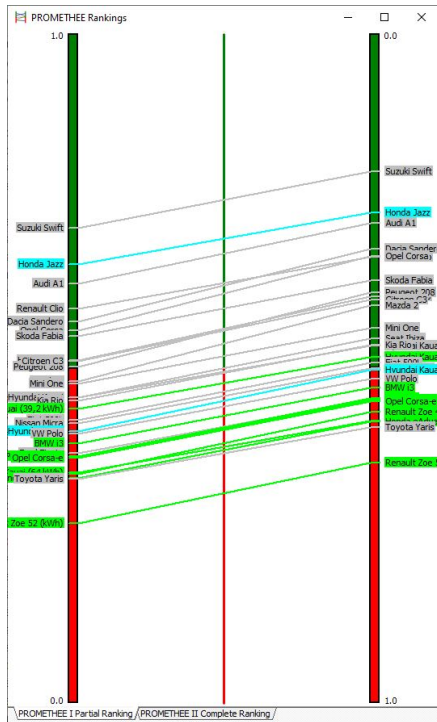
(b) Cenário 3 - GAIA

Figura 5.17: Perfil ambientalista condicionado (PROMETHEE II e Plano GAIA) - Cenário 3

5.2.2.4 Cenário 4

Nesta situação é, mais uma vez, ensaiada a necessidade de substituição das baterias dos VE. Tal como seria de esperar os VCI apresentam as melhores avaliações, tanto sob ϕ^+ como sob ϕ^- . Isto deve-se ao aumento das emissões resultantes da produção da segunda bateria dos VE e ao custo monetário dessa substituição.

A análise do plano GAIA confirma os resultados obtidos. Mesmo que os VE continuem a apresentar menores custos de operação, nenhum destes veículos se encontra sob orientação do eixo relativo aos critérios “ambiental” e “Custo de aquisição”. Já os VCI estão todos sobre a orientação dos dois critérios referidos anteriormente, daí obterem melhor avaliação.



(a) Cenário 4 - PROMETHEE I

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Suzuki Swift	0,5049	0,7097	0,2048
2	Honda Jazz	0,3881	0,6556	0,2674
3	Audi A1	0,3440	0,6263	0,2822
4	Renault Clio	0,2564	0,5897	0,3333
5	Dacia Sandero	0,2493	0,5706	0,3213
6	Opel Corsa	0,2244	0,5568	0,3324
7	Skoda Fabia	0,1806	0,5489	0,3683
8	Hyundai i20	0,1198	0,5117	0,3920
9	Peugeot 208	0,1158	0,5025	0,3868
10	Citroen C3	0,1133	0,5109	0,3976
11	Mazda 2	0,0755	0,4811	0,4055
12	Mini One	0,0381	0,4776	0,4395
13	Seat Ibiza	0,0017	0,4567	0,4550
14	Hyundai Kauai	-0,0104	0,4563	0,4667
15	Kia Rio	-0,0134	0,4519	0,4652
16	Hyundai Kauai (39,2 kWh)	-0,0440	0,4397	0,4837
17	Fiat 500L	-0,0686	0,4229	0,4915
18	Nissan Micra	-0,0821	0,4175	0,4996
19	Hyundai Kauai	-0,0963	0,4061	0,5024
20	VW Polo	-0,1141	0,4018	0,5159
21	BMW i3	-0,1412	0,3882	0,5294
22	Ford Fiesta	-0,1744	0,3730	0,5474
23	Honda e	-0,1760	0,3687	0,5447
24	Peugeot e-208	-0,1787	0,3682	0,5468
25	Opel Corsa-e	-0,1835	0,3657	0,5493
26	Renault Zoe 41 (kWh)	-0,2236	0,3415	0,5651
27	Hyundai Kauai (64 kWh)	-0,2342	0,3448	0,5790
28	Honda eAdvance	-0,2443	0,3360	0,5803
29	Toyota Yaris	-0,2534	0,3348	0,5882
30	Renault Zoe 52 (kWh)	-0,3736	0,2681	0,6417

(b) Cenário 4 - Rankings

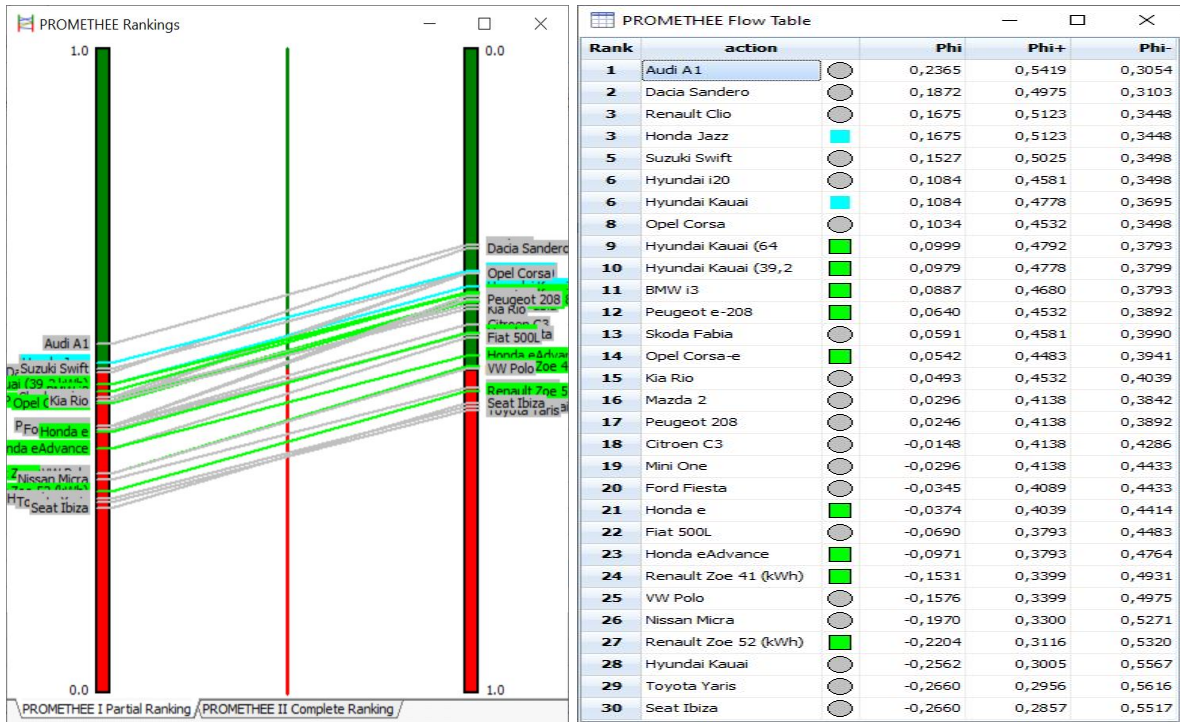
Figura 5.18: Resultados relativos ao perfil ambientalista condicionado - Cenário 4

5.2.3 Perfil de consumidor 'Indiferente'

O terceiro perfil de consumidor em análise será o 'Indiferente'. Nesta situação, retrata-se o consumidor que pretende adquirir um veículo porque efetivamente necessita de um, não apresentando preferência relativamente a qualquer um dos critérios considerados. Deste modo, os pesos relativos atribuídos a cada critério são os pesos que o *software* atribuí por defeito, ou seja, todos os critérios apresentam a mesma importância.

5.2.3.1 Cenário 1

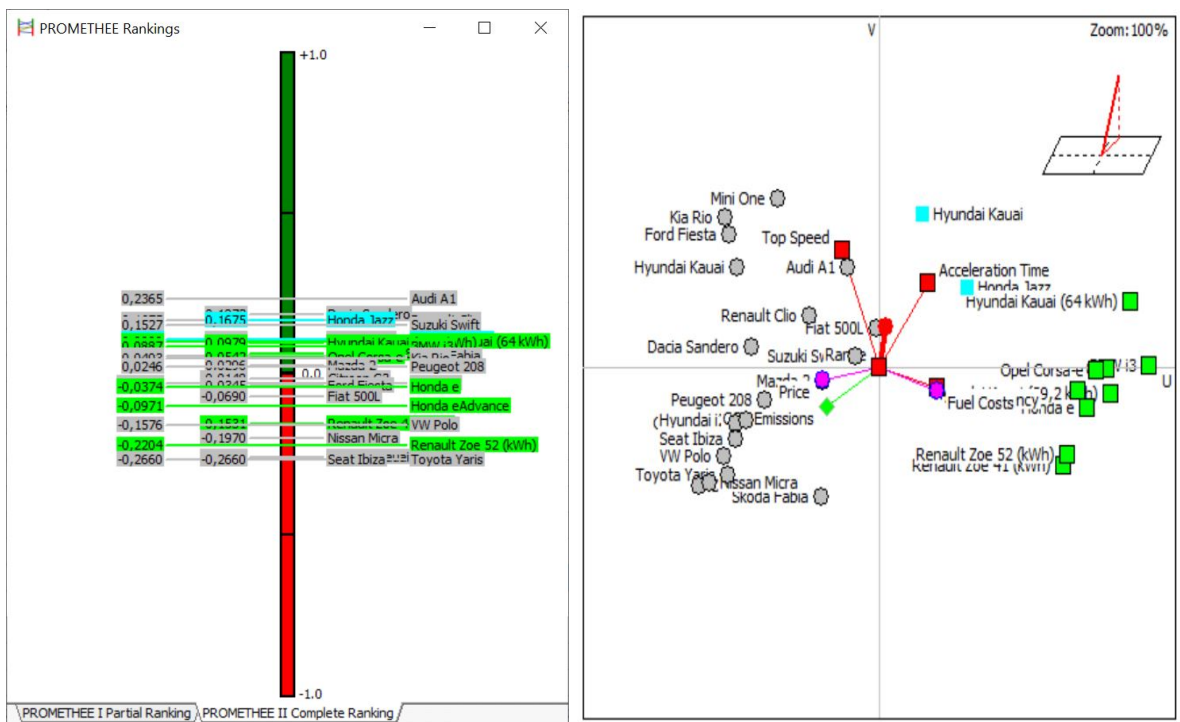
Através da Figura 5.19, verifica-se que não existe um tipo de veículo que sobressaia em relação a outro. Mesmo que os VCI surjam no topo da lista, também os VEH e os VE poderiam constituir uma boa opção. Analisando atentamente os valores dos fluxos e as linhas de ação, é notório que agora existem mais alternativas incomparáveis. Este resultado deve-se à maior relevância agora atribuída aos critérios técnicos.



(a) Cenário 1 - PROMETHEE I

(b) Cenário 1 - Rankings

Figura 5.19: Resultados relativos ao perfil indiferente - Cenário 1



(a) Cenário 1 - PROMETHEE II

(b) Cenário 1 - GAIA

Figura 5.20: Perfil indiferente (PROMETHEE II e Plano GAIA) - Cenário 1

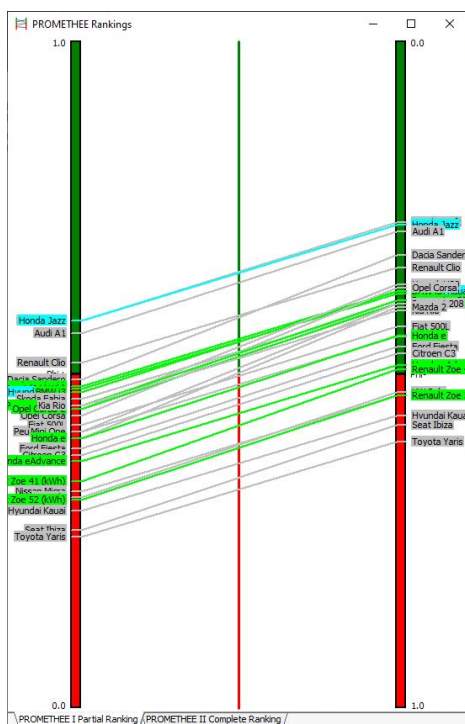
Com os resultados obtidos através do método PROMETHEE II (Figura 5.20a) foi pos-

sível suportar os resultados obtidos anteriormente; porém, não é possível identificar quais as alternativas incomparáveis.

Ao utilizar o plano GAIA (Figura 5.20b) é visível que, para a distância de 15 000 quilômetros, os VCI continuam a ser os veículos melhor avaliados pelo critério "ambiental" e pelo critério "Custo de aquisição", existindo dentro desta categoria várias alternativas semelhantes. Os VE continuam a apresentar melhor avaliação segundo o critério "Custos de operação", havendo também várias alternativas semelhantes entre si. Com os critérios técnicos a apresentarem uma maior relevância, à semelhança do que acontece com o PROMETHEE I, verifica-se que não há nenhum tipo de veículo em destaque.

5.2.3.2 Cenário 2

Para este cenário, é notório que os VEH apresentam uma boa avaliação (Figura 5.21). Tal como na situação anterior, não existe um tipo de veículo que se destaque relativamente aos outros já que existem veículos de diferentes tipos com valores de fluxos muito próximos. Com a maior relevância dos critérios técnicos, temos mais uma vez várias alternativas incomparáveis entre si já que existem diversas linhas de ação que se cruzam.



(a) Cenário 2 - PROMETHEE I

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Suzuki Swift	0,3103	0,5813	0,2709
2	Honda Jazz	0,3054	0,5813	0,2759
3	Audi A1	0,2759	0,5616	0,2857
4	Renault Clio	0,1773	0,5172	0,3399
5	Dacia Sandero	0,1724	0,4926	0,3202
6	Hyundai Kauai (39,2	0,1078	0,4828	0,3750
7	Hyundai Kauai (64	0,0999	0,4792	0,3793
8	Hyundai Kauai	0,0985	0,4729	0,3744
9	BMW i3	0,0985	0,4729	0,3744
10	Hyundai i20	0,0837	0,4483	0,3645
11	Opel Corsa	0,0690	0,4384	0,3695
11	Skoda Fabia	0,0690	0,4631	0,3941
13	Peugeot e-208	0,0640	0,4532	0,3892
14	Opel Corsa-e	0,0542	0,4483	0,3941
15	Kia Rio	0,0493	0,4532	0,4039
16	Peugeot 208	0,0197	0,4138	0,3941
17	Mazda 2	0,0049	0,4039	0,3990
18	Fiat 500L	-0,0049	0,4236	0,4286
19	Mini One	-0,0296	0,4138	0,4433
20	Honda e	-0,0374	0,4039	0,4414
21	Ford Fiesta	-0,0690	0,3892	0,4581
22	Citroen C3	-0,0887	0,3793	0,4680
23	Honda eAdvance	-0,1168	0,3695	0,4862
24	Renault Zoe 41 (kWh)	-0,1531	0,3399	0,4931
25	Nissan Micra	-0,2069	0,3251	0,5320
26	VW Polo	-0,2118	0,3153	0,5271
27	Renault Zoe 52 (kWh)	-0,2204	0,3116	0,5320
28	Hyundai Kauai	-0,2660	0,2956	0,5616
29	Seat Ibiza	-0,3103	0,2660	0,5764
30	Toyota Yaris	-0,3448	0,2562	0,6010

(b) Cenário 2 - Rankings

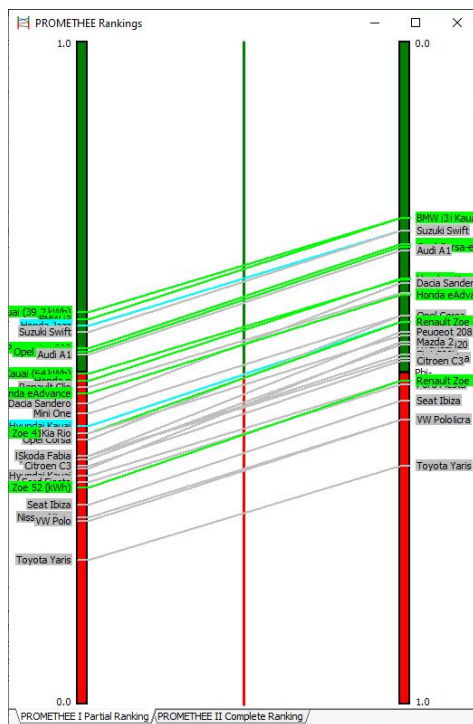
Figura 5.21: Resultados relativos ao perfil indiferente - Cenário 2

Através da análise do plano GAIA (Figura 5.22) verifica-se um caso semelhante ao encontrado no cenário anterior, porém, os VEH parecem sobressair, suportando assim, a boa avaliação obtida pelo PROMETHEE I.



Figura 5.22: Cenário 2 - GAIA

5.2.3.3 Cenário 3



(a) Cenário 3 - PROMETHEE I

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Hyundai Kauai (39,2)	0,3245	0,5911	0,2666
2	BMW i3	0,3153	0,5813	0,2660
3	Honda Jazz	0,2857	0,5714	0,2857
4	Suzuki Swift	0,2759	0,5616	0,2857
5	Peugeot e-208	0,2315	0,5369	0,3054
6	Opel Corsa-e	0,2217	0,5320	0,3103
7	Audi A1	0,2118	0,5271	0,3153
8	Hyundai Kauai (64)	0,1393	0,4989	0,3596
9	Honda e	0,1301	0,4877	0,3576
10	Renault Clio	0,0985	0,4778	0,3793
11	Dacia Sandero	0,0887	0,4532	0,3645
12	Honda eAdvance	0,0852	0,4680	0,3828
13	Mini One	0,0246	0,4384	0,4138
14	Hyundai Kauai	-0,0049	0,4187	0,4236
15	Opel Corsa	-0,0148	0,3990	0,4138
16	Renault Zoe 41 (kWh)	-0,0152	0,4089	0,4241
17	Kia Rio	-0,0345	0,4089	0,4433
18	Peugeot 208	-0,0640	0,3744	0,4384
19	Hyundai i20	-0,0887	0,3695	0,4581
20	Fiat 500L	-0,0985	0,3744	0,4729
21	Mazda 2	-0,0985	0,3547	0,4532
22	Skoda Fabia	-0,1034	0,3744	0,4778
23	Citroen C3	-0,1232	0,3596	0,4828
24	Hyundai Kauai	-0,1675	0,3448	0,5123
25	Ford Fiesta	-0,1823	0,3350	0,5172
26	Renault Zoe 52 (kWh)	-0,1860	0,3264	0,5123
27	Seat Ibiza	-0,2414	0,3005	0,5419
28	Nissan Micra	-0,2906	0,2808	0,5714
29	VW Polo	-0,2956	0,2759	0,5714
30	Toyota Yaris	-0,4236	0,2167	0,6404

(b) Cenário 3 - Rankings

Figura 5.23: Resultados relativos ao perfil indiferente - Cenário 3

Tal como se verificou nos perfis anteriores, este cenário favorece os VE e os VEH. Para uma distância percorrida considerável, 150 000 quilómetros, a emissão associada à fase de produção dos VE começa a ser compensada pelas poupanças conseguidas durante a fase de uso, daí estes veículos surgirem com a melhor opção. Através da análise dos fluxos (Figura 5.23) verifica-se que continuam a existir alternativas incomparáveis entre si já que existem algumas linhas de ação que se cruzam.

Pela análise do plano GAIA (Figura 5.24), verifica-se que, para este cenário, as alternativas entre os diferentes VCI são consideradas semelhantes já que se encontram todos muito próximos, o mesmo acontece entre os VE. Verifica-se também que, para este cenário, os VE apresentam, no total, um menor número de emissões associadas, daí apresentarem uma boa avaliação.

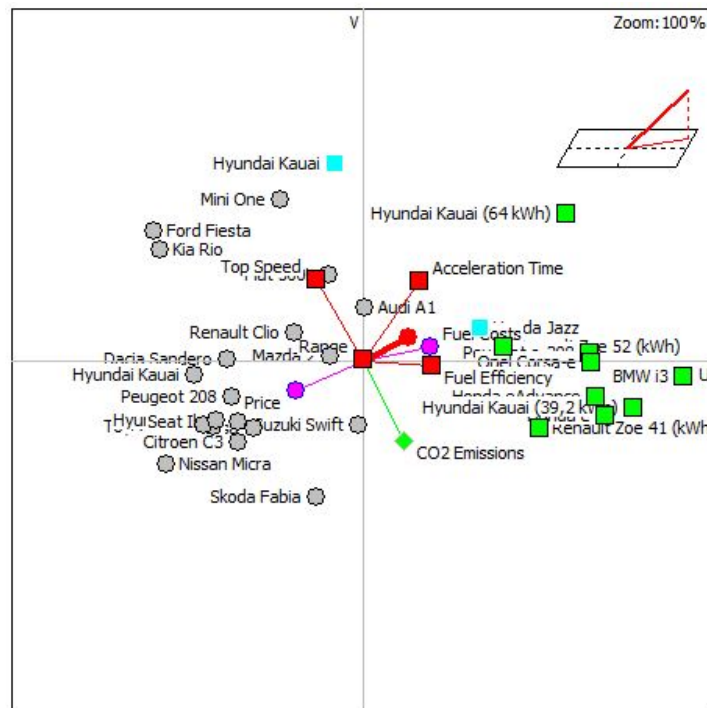
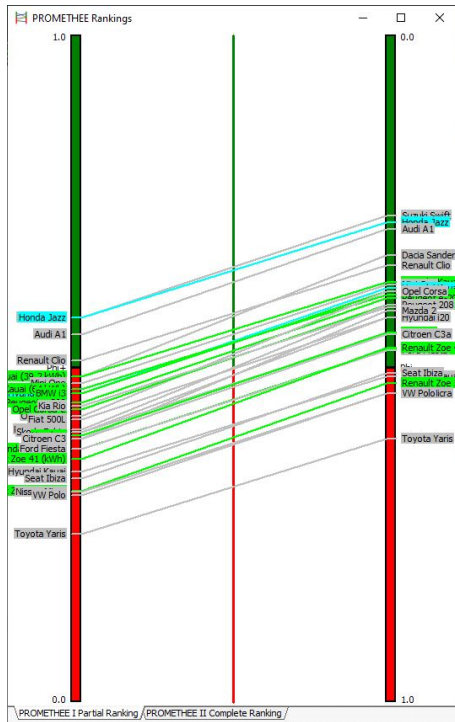


Figura 5.24: Cenário 3 - GAIA

5.2.3.4 Cenário 4

Tal como referido anteriormente, neste cenário, é feita uma análise em que existe necessidade de substituir a bateria dos VE. Através da análise dos resultados obtidos (Figura 5.25), verifica-se que, mesmo com as emissões resultantes da produção da segunda bateria, existem VE bem avaliados. Isto deve-se, mais uma vez, à maior relevância dada aos critérios técnicos e ao critério “Custo de Operação”. Neste cenário, continuam a existir algumas alternativas incomparáveis, devido ao conflito existente entre os critérios técnicos, já que existem várias linhas de ação que se cruzam.



(a) Cenário 4 - PROMETHEE I

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Suzuki Swift	0,3054	0,5764	0,2709
2	Honda Jazz	0,2956	0,5764	0,2808
3	Audi A1	0,2611	0,5517	0,2906
4	Renault Clio	0,1675	0,5123	0,3448
5	Dacia Sandero	0,1576	0,4877	0,3300
6	Hyundai Kauai (39,2)	0,1176	0,4877	0,3701
7	Mini One	0,1034	0,4778	0,3744
8	Hyundai Kauai	0,0837	0,4631	0,3793
9	Hyundai Kauai (64)	0,0801	0,4693	0,3892
10	BMW i3	0,0788	0,4631	0,3842
11	Peugeot e-208	0,0542	0,4483	0,3941
12	Opel Corsa	0,0443	0,4286	0,3842
13	Opel Corsa-e	0,0345	0,4384	0,4039
14	Kia Rio	0,0345	0,4433	0,4089
15	Peugeot 208	0,0049	0,4089	0,4039
16	Fiat 500L	0,0000	0,4236	0,4236
17	Hyundai i20	-0,0197	0,4039	0,4236
18	Mazda 2	-0,0197	0,3941	0,4138
19	Skoda Fabia	-0,0443	0,4039	0,4483
20	Honda e	-0,0473	0,3990	0,4463
21	Citroen C3	-0,0542	0,3941	0,4483
22	Honda eAdvance	-0,0922	0,3793	0,4715
23	Ford Fiesta	-0,0936	0,3793	0,4729
24	Renault Zoe 41 (kWh)	-0,1039	0,3645	0,4684
25	Hyundai Kauai	-0,1675	0,3448	0,5123
26	Seat Ibiza	-0,1724	0,3350	0,5074
27	Renault Zoe 52 (kWh)	-0,2057	0,3165	0,5222
28	Nissan Micra	-0,2217	0,3153	0,5369
29	VW Polo	-0,2266	0,3103	0,5369
30	Toyota Yaris	-0,3547	0,2512	0,6059

(b) Cenário 4 - Rankings

Figura 5.25: Resultados relativos ao perfil indiferente - Cenário 4

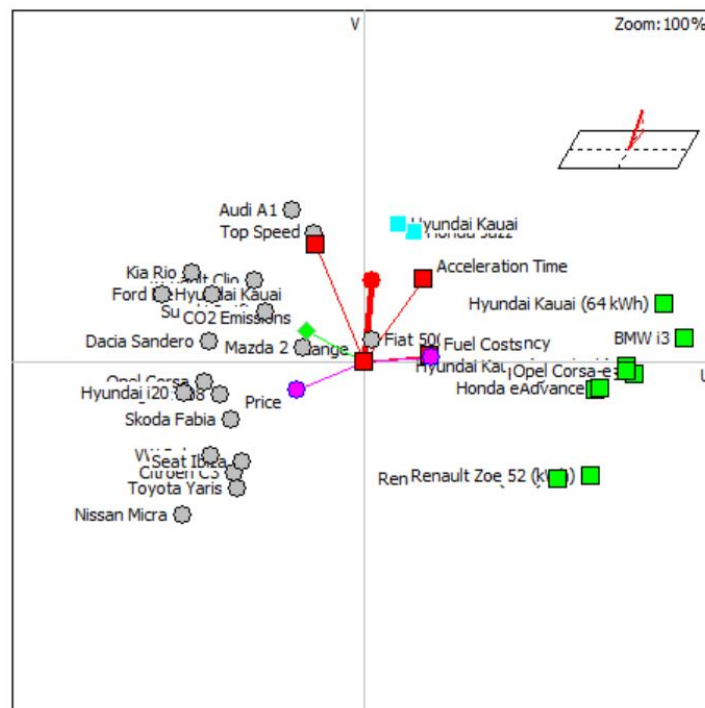


Figura 5.26: Cenário 4 - GAIA

A partir da análise do plano GAIA (Figura 5.26) verifica-se que os VCI apresentam uma melhor alternativa do ponto de vista ambiental, já que o eixo relativo a este critério aponta

na sua direção, o mesmo acontece com o critério “Custo de aquisição”. Este resultado deve-se ao aumento dos custos associados aos VE após a substituição da segunda bateria. Já no campo dos custos de operação, os VE prevalecem como a melhor opção. Contudo, tendo em conta todos os critérios, os VEH surgem como a melhor opção para este cenário.

5.3 Retorno do investimento e das emissões

Nesta análise, calcularam-se os quilómetros que um VE tem que percorrer para se alcançar o retorno do investimento inicial, *i.e.* o *breakeven driving point* de cada veículo, uma vez que o elevado custo de aquisição deste tipo de veículos é ainda uma das principais barreiras identificadas no processo de eletrificação do setor dos transportes. Para além disso, calculou-se, também, o retorno das emissões de CO₂ envolvidas na produção dos VE, dado que, a preocupação em torno das emissões associadas aos VE tem vindo a aumentar.

Relativamente ao cálculo do retorno do investimento inicial, apurou-se a diferença do valor de investimento (valores fixos), bem como a diferença de custo durante a fase de uso de cada veículo (valores variáveis). Quanto ao retorno das emissões de CO₂, sabe-se que as emissões associadas à produção (valores fixos) de um VE são superiores às de um VCI; contudo, na fase de uso (valores variáveis) são significativamente mais reduzidas. Assim, é possível calcular a distância que é necessário percorrer para que as emissões evitadas na fase de uso superem as da fase de produção.

$$Retorno = - \frac{\Delta \text{valores fixos}}{\Delta \text{valores variáveis}} \quad (5.1)$$

Na realização desta análise usaram-se veículos que, dentro do mesmo modelo, apresentam os três tipos de motorização em análise: VCI, VE e VHR. Os valores apresentados na Tabela A.11, referentes às características de cada veículo, foram obtidos através dos respetivos fabricantes. No que se refere à informação relativa às taxas de eletricidade e de carregamento de veículos elétricos em postos de carregamento, esta pode ser encontrada em [44] e [45]. Como não foi possível encontrar o valor correspondente aos custos de manutenção de cada veículo, utilizou-se um valor médio disponibilizado em [46].

É de salientar que, nesta análise, foram considerados dois métodos de carregamento dos VE (doméstico e público), métodos esses com tarifas energéticas também distintas. No caso do carregamento exclusivamente doméstico foram consideradas duas tarifas energéticas: tarifa simples e tarifa bi-horária (vazio e fora de vazio). Já no caso do carregamento exclusivamente público foram considerados carregamentos rápidos e não-rápidos. Desta forma, pretende-se analisar qual a variação do retorno do investimento inicial em função do tipo de carregamento efetuado e respetivas tarifas energéticas.

Através da análise da Figura 5.27 verifica-se que, independentemente do modelo em

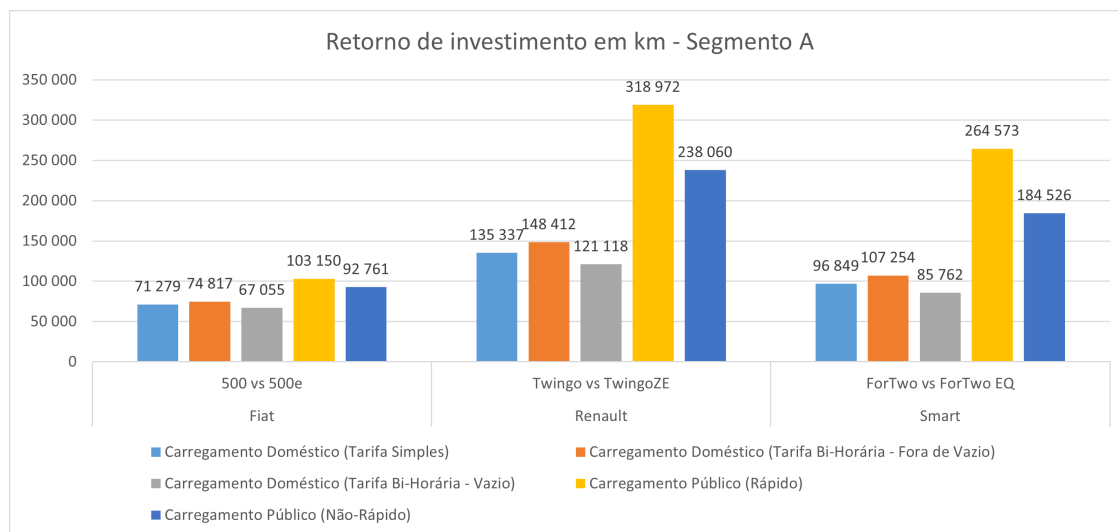


Figura 5.27: Retorno do investimento inicial - Segmento A

análise, os resultados obtidos são semelhantes para cada cenário de carregamento. De facto, as diferenças observadas devem-se, essencialmente, à diferença de consumos entre cada modelo. Considere-se o caso do Fiat 500e em detrimento do seu homólogo a combustão, por exemplo. Se o seu utilizador optar uma tarifa energética simples irá obter um retorno do seu investimento ao fim de 71 279 quilómetros percorridos, o que equivale a aproximadamente 5 anos para um condutor médio português. Caso o utilizador do veículo opte por uma tarifa energética bi-horária e proceda ao carregamento do veículo exclusivamente em horário de vazio, o retorno é conseguido ao fim de 67 055 quilómetros, ou seja, 4,5 anos. Quando o carregamento do veículo é feito exclusivamente através de postos de carregamento públicos, este período de tempo tende a aumentar devido aos preços mais elevados de abastecimento associados a este tipo de carregamento.

Ao observar a Figura 5.28 conclui-se que os resultados obtidos para o segmento B são, em geral, análogos aos do segmento anterior, exceto no caso particular do Hyundai Kauai elétrico. Para este veículo verifica-se que não há qualquer retorno de investimento caso se opte pelo veículo com uma bateria com uma capacidade superior, ou seja, este veículo só será uma boa opção para o tipo de utilizador que tenha como critério relevante a autonomia.

Da análise da Figura 5.29 verifica-se que as emissões geradas na fase de produção são mais depressa compensadas durante a fase de uso quando se comparam os VEH com os VE. Este resultado deve-se ao facto dos VEH apresentarem, na fase de produção, uma quantidade significativa de emissões associada à produção da sua bateria, mesmo que pequena e, durante a fase de uso gerarem emissões próximas de um VCI. Nesta situação em particular, seria apenas necessário percorrer 60 375 quilómetros, o que corresponde a 4 anos. Refere-se ainda que não há qualquer retorno quando se opta por VE, do mesmo modelo, com baterias de capacidade superior em detrimento de veículos com baterias de

capacidade inferior. Por este motivo, não há qualquer valor na coluna correspondente à comparação do Hyundai Kauai de 39,2 kWh com o Hyundai Kauai de 64 kWh.

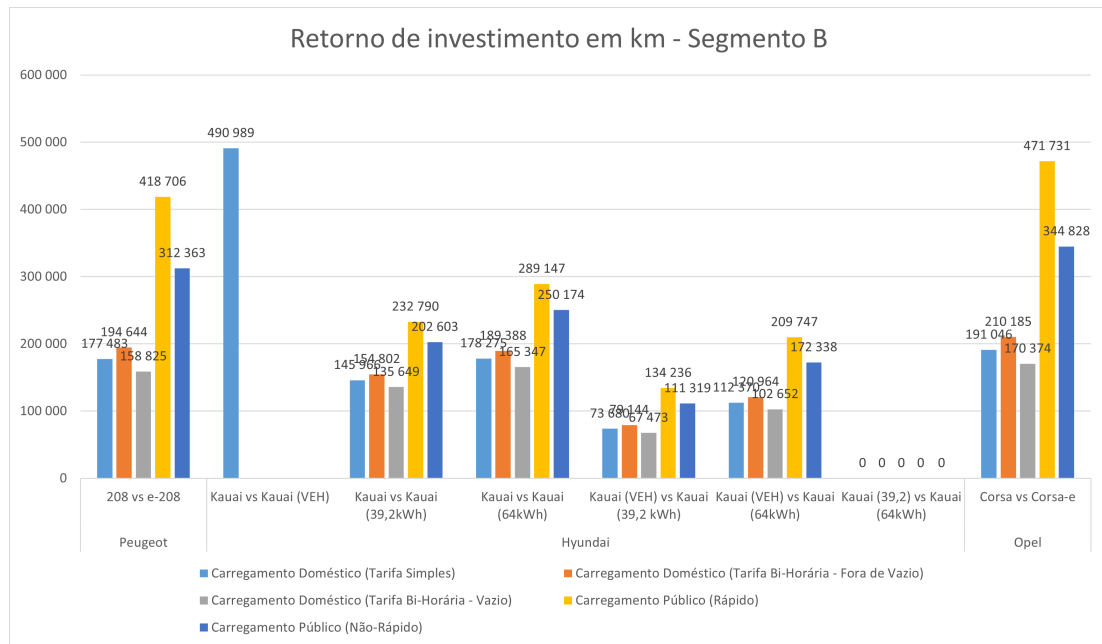


Figura 5.28: Retorno do investimento inicial - Segmento B

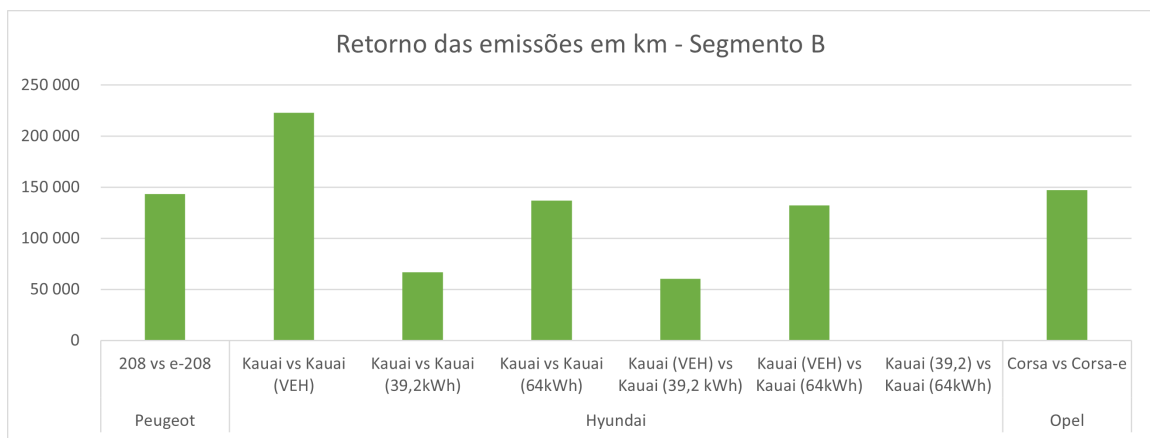


Figura 5.29: Retorno das emissões - Segmento B

Da análise realizada foi ainda possível constatar que, em média, a autonomia de um VE é de 354 quilómetros e que, em média, um condutor português percorre uma distância de 60 quilómetros por dia, pelo que não haveria necessidade de carregar totalmente o veículo todos os dias, podendo carregar apenas parcialmente ou então realizar o carregamento com o espaçamento de alguns dias. Nestas circunstâncias, a atitude mais correta seria então carregar o veículo ao fim-de-semana, não existindo problemas relacionados com a autonomia do mesmo. Contudo, pode ser necessário realizar viagens superiores à autonomia do veículo e a rede de carregamento de veículos elétricos em Portugal é ainda relativamente escassa e os carregamentos são bastante mais demorados do que o abastecimento de um

veículo convencional. Deste modo, os VE poderão ser uma boa opção desde que, no mesmo agregado familiar, exista um outro veículo que permita percorrer longas distâncias quando existe a necessidade de o fazer.

6

Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1 Conclusão

O principal objetivo deste trabalho consistiu em efetuar uma avaliação dos diversos tipos de veículos atualmente existentes no mercado automóvel, contrastando os respetivos desempenhos nos critérios técnicos, económicos e ambientais com as restantes tecnologias do mesmo segmento.

Os critérios de avaliação selecionados permitiram realizar uma análise contemplando consumidores com perfis e preferências distintos. Assim, o perfil do consumidor "Ambientalista" é obtido atribuindo um peso superior ao critério ambiental (emissões de CO₂ calculadas com base na ACV de cada veículo). O perfil do "Ambientalista controlado" atribui maior importância aos critérios ambiental e de custo económico ("Custos de aquisição" e "Custos variáveis"). Finalmente, o perfil do consumidor "Indiferente" atribui o mesmo peso a todos os critérios.

Durante a fase inicial do trabalho foi realizada uma revisão da literatura, que permitiu fazer o levantamento das metodologias de avaliação tipicamente utilizadas na avaliação de veículos com diferentes motorizações. Seguidamente, apresentou-se uma caracterização do setor dos transportes em Portugal. Esta caracterização permitiu perceber que o processo de eletrificação do setor, mesmo que lento e com reduzidos apoios estatais, se encontra em marcha. Foi também possível identificar quais os tipos de veículos mais vendidos durante o ano de 2020 e como as mais recentes tecnologias utilizadas nos veículos precisam, ainda, de ser aprimoradas.

O desenvolvimento da metodologia de avaliação envolveu diferentes fases: seleção do conjunto de veículos a classificar, dos critérios de classificação, do método de avaliação multicritério e obtenção do desempenho dos veículos em cada um dos critérios selecionados. Para a seleção dos veículos a classificar e dos critérios de avaliação a utilizar foi considerada a informação recolhida na revisão da literatura.

Os tipos de veículos selecionados foram os seguintes: VCI, VE, VEH e VHR. A metodologia utiliza sete critérios: quatro critérios técnicos (autonomia da bateria, aceleração, velocidade máxima e eficiência energética), dois critérios económicos (custo de aquisição

e custos variáveis) e um critério ambiental que avalia os impactos durante o ciclo de vida de cada veículo.

Para o processo de classificação foi selecionado o método PROMETHEE GAIA, devido à sua simplicidade em termos de conceção e aplicação, quando comparado com outros métodos.

A aplicação da metodologia foi feita com recurso ao programa VISUAL PROMETHEE, que implementa uma metodologia baseada no PROMETHEE GAIA. Durante a aplicação da metodologia, foi possível obter a ordenação das alternativas sob diferentes perspetivas (ambientalista, ambientalista condicionada e indiferente), bastando, para tal, atribuir relevâncias distintas aos critérios, através da atribuição de pesos.

De uma forma geral pode afirmar-se que considerando uma 'vida útil' do veículo de 150 000 quilómetros, a maioria dos VE apresenta uma melhor desempenho do que os VCI para qualquer perfil de utilizador. Isto deve-se, não só, ao facto de o sobrecusto de aquisição associado aos VE ser compensado pelos menores custos operacionais mas também pela compensação das emissões associadas à fase de produção durante a fase de uso dos mesmos.

Verificou-se também que os VE que apresentam piores desempenhos são aquelas que apresentam baterias com capacidades superiores e, conseqüentemente, mais emissões associadas à fase de produção e custos de aquisição superiores. Para além disto, é notório que a análise económica fica condicionada pela gestão de carregamento efectuada pelo utilizador (i.e. doméstico simples ou bi-horária; posto público rápido ou não rápido).

É expectável que, para um *mix* energético assente maioritariamente em energias renováveis, os VE apresentem desempenhos superiores. Para estes resultados contribuem não só as menores emissões associadas à produção das baterias destes veículos mas também as menores emissões geradas na produção de energia para abastecimento dos mesmos

Como trabalho a realizar no futuro, seria útil aplicar a metodologia aqui utilizada na comparação de veículos cuja tecnologia se encontre mais desenvolvida, particularmente em relação às baterias.

Bibliografia

- [1] Conselho Europeu. Normas de emissão de CO₂ para automóveis de passageiros e veículos comerciais ligeiros: Conselho confirma acordo sobre limites mais rigorosos, 2019.
- [2] Parlamento Europeu, Atos Legislativos, and E Outros Instrumentos. PE-CONS 6/19 TREE.1 SM/sf. 2019, 2019.
- [3] Observatório da Energia DGEG, ADENE. *Edição 2020*. 2020.
- [4] APREN. Boletim Eletricidade Renovável 2021. *Apren*, page 17, 2021.
- [5] Parlamento Europeu. Electric road vehicles in the European Union Trends , impacts and policies. *EPRS / European Parliamentary Research Service*, (April):11, 2019.
- [6] Communication From the Commission To the European Parliament the Council the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. 17, Final. page 11, 2013.
- [7] Comissão Europeia. COM(2013) 17 - Energia limpa para os transportes: uma estratégia europeia para os combustíveis alternativos. (2005):1–13, 2013.
- [8] European Commission. Towards the broadest use of alternative fuels - an Action Plan on Alternative Fuels Infrastructure under Article 10(6) of Directive 2014/94/EU, including the assessment of national policy frameworks under Article 10(2) of Directive 2014/94/EU. *Detailed Assessment of the National Policy Frameworks*, 10, 2017.
- [9] European Commission. COM(2018) 293 final. Annex 2. Annex to the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee of the Regions. Europe on the Move. Sustainable Mobility for Europe: safe, connected and clean. *Journal of Retailing and Consumer Services*, pages 1–10, 2018.
- [10] Anastasios Tsakalidis and Christian Thiel. *Electric vehicles in Europe from 2010 to 2017: is full-scale commercialisation beginning?* 2018.
- [11] CGD. Qual o incentivo fiscal para comprar carros sustentáveis em 2021?, 2021.

-
- [12] UWU solutions. Conheça os Benefícios Fiscais para as viaturas elétricas e plug-in, 2019.
- [13] EEA. *Electric Vehicles in Europe - 2016 - Approaching adolescence*. Number 20. 2016.
- [14] ISO. *ISO 14044: 2006 Environmental management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines*. Geneva, 2006.
- [15] Nicholas Dodd, Shane Donatello, and Mauro Cordella. UM3 - Level(s) indicator 1.2: Life cycle Global Warming Potential (GWP). (October):1–41, 2021.
- [16] Rita Garcia and Fausto Freire. A Fleet-based Life-cycle Assessment of Electric Vehicles in Portugal. *Energy for Sustainability 2013. Sustainable Cities: Designing for People and the Planet, (Lc)*, 2013.
- [17] Ana Rita Domingues, Pedro Marques, Rita Garcia, Fausto Freire, and Luís C. Dias. Applying multi-criteria decision analysis to the life-cycle assessment of vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 107:749–759, 2015.
- [18] J. Hofer, A. Simons, and W. Schenler. Multi-criteria analysis of passenger vehicles based on technical, economic, and environmental indicators. *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition, EVS 2014*, pages 1–11, 2014.
- [19] Paul Wolfram, Qingshi Tu, Niko Heeren, Stefan Pauliuk, and Edgar G. Hertwich. Material efficiency and climate change mitigation of passenger vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 1:1–17, 2020.
- [20] A Kiker Gregory, S Bridges Todd, Varghese Arun, P Seager Thomas, and Linkov Igor. Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1(2):95–108, 2005.
- [21] K Rogers and P Seager, T. Environmental Decision-Making Using Life Cycle Impact Assessment and Stochastic Multiattribute Decision Analysis : A Case Study on Alternative Transportation Fuels. *Environmental Science & Technology*, 43:1718–1723, 2009.
- [22] Nuri Cihat Onat, Murat Kucukvar, Omer Tatari, and Qipeng Phil Zheng. Combined application of multi-criteria optimization and life-cycle sustainability assessment for optimal distribution of alternative passenger cars in U.S. *Journal of Cleaner Production*, 112:291–307, 2016.
- [23] Jane Patterson, Adam Gurr, Fabian Marion, and Geraint Williams. Strategic selection of future EV technology based on the carbon payback period. *World Electric Vehicle Journal*, 5(4):825–835, 2012.
- [24] Fanchao Liao, Eric Molin, and Bert van Wee. Consumer preferences for electric vehicles: a literature review. *Transport Reviews*, 37(3):252–275, 2017.

-
- [25] Georg Bieker. A GLOBAL COMPARISON OF THE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF COMBUSTION ENGINE AND ELECTRIC PASSENGER CARS. (July), 2021.
- [26] Salvatore Greco, Matthias Ehrgott, and José Rui Figueira. *Multiple Criteria Decision Analysis*. Springer, New York, NY, New York, 2 edition, 2016.
- [27] Michalis Doumpos, José Rui Figueira, Salvatore Greco, and Constantin Zopounidis. *New Perspectives in Multiple Criteria Decision Making*. Springer International Publishing, 1 edition, 2019.
- [28] Valerie Belton and Theo Stewart. *Multiple Criteria Decision Analysis*. Springer US, 1 edition, 2002.
- [29] J-P Brans and B Mareschal. The PROMCALC GAIA decision support system for multicriteria decision aid, 1994.
- [30] J.-P. Brans and B. Mareschal. Promethee methods. in multiple criteria decision analysis: State of the art surveys. pages 163–186, 2005.
- [31] Bertrand Mareschal, Jean Brans, and Pierre. Visual PROMETHEE. 2013.
- [32] Bart Demandt. Europea Sales 2020 MiniCars, 2021.
- [33] Bart Demandt. European Sales 2020 Subcompact Cars, 2021.
- [34] Bart Demandt. European Sales 2020 Compact Cars, 2021.
- [35] Bart Demandt. European Sales 2020 Midsized Cars, 2021.
- [36] Bart Demandt. European Sales 2020 Large Cars, 2021.
- [37] Bart Demandt. European Sales 2020 EV and PHEV, 2021.
- [38] Lidiane La Picirelli de Souza, Electo Eduardo Silva Lora, José Carlos Escobar Palacio, Mateus Henrique Rocha, Maria Luiza Grillo Renó, and Osvaldo José Venturini. Comparative environmental life cycle assessment of conventional vehicles with different fuel options, plug-in hybrid and electric vehicles for a sustainable transportation system in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 203:444–468, 2018.
- [39] Ole Kolb and Stefan Siegmund. *Study on the Implementation of Article 7(3) of the “Directive on the Deployment of Alternative Fuels Infrastructure” – Fuel Price Comparison*, volume 7. 2017.
- [40] Alfredo Lavrador. Quer ver por que razão os motores eléctricos são mais eficientes do que os de combustão?, 2019.
- [41] Daimler AG. Life Cycle COMPACT The new GLE 500 e 4MATIC, 2015.

-
- [42] Hector Eduardo Perez, Xiaosong Hu, Satadru Dey, and Scott J. Moura. Optimal Charging of Li-Ion Batteries with Coupled Electro-Thermal-Aging Dynamics. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(9):7761–7770, 2017.
- [43] Linda Gaines. Lithium-ion battery recycling processes: Research towards a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, 17:1–11, 2018.
- [44] EDP Comercial. Tarifários - Conheça os tarifários que temos para si, 2021.
- [45] C Rodrigues and F Nunes. Carros elétricos: quanto custa carregar a bateria?, 2021.
- [46] ACP. Guia sobre carros elétricos: o essencial sobre a mobilidade elétrica, 2021.

A

Apêndice

As tabelas apresentadas neste Apêndice contêm a informação relativa às fichas técnicas de cada veículo disponibilizadas pelos diversos fabricantes, bem como os cálculos efectuados na ACV dos vários veículos e respetivos *Breaking Even Driving Points* .

1. Fichas Técnicas

- (a) Ficha técnica - Veículos segmento A - Tabela A.1;
- (b) Ficha técnica - Veículos segmento B - Tabela A.2;
- (c) Ficha técnica - Veículos segmento C - Tabela A.3;
- (d) Ficha técnica - Veículos segmento D - Tabela A.4;
- (e) Ficha técnica - Veículos segmento E - Tabela A.5.

2. Análises de ciclo de vida

- (a) ACV - Veículos segmento A - Tabela A.6;
- (b) ACV - Veículos segmento B - Tabela A.7;
- (c) ACV - Veículos segmento C - Tabela A.8;
- (d) ACV - Veículos segmento D - Tabela A.9;
- (e) ACV - Veículos segmento E - Tabela A.10.

3. Custos variáveis

- (a) Custos variáveis - Veículos segmento A A.12;
- (b) Custos variáveis - Veículos segmento B A.13;
- (c) Custos variáveis - Veículos segmento C A.14;
- (d) Custos variáveis - Veículos segmento D A.15;
- (e) Custos variáveis - Veículos segmento E A.16;

Tabela A.1: Ficha técnica - Veículos segmento A

Veículo	Marca	Modelo	Autonomia (km)	Tempo de Aceleração (s)	Velocidade Máxima (km/h)	Consumo (kWh/km)	Preço (€)	Emissões de CO2 (g/km)
VCI	Fiat	n.a	686	12,9	160	0,637	18 548,00	112
VCI	Toyota	Aygo	n.a	15,2	160	0,650	13 880,00	113
VCI	Renault	Twingo	n.a	15,1	158	0,676	12 590,00	117
VCI	VW	Up	n.a	15,6	163	0,676	15 379,00	118
VCI	Hyundai	i10	n.a	14,8	156	0,676	12 955,16	119
VCI	Kia	Picanto	n.a	14,6	161	0,676	12 325,00	117
VCI	Peugeot	108	n.a	12,6	160	0,624	11 780,00	110
VCI	Citroen	C1	n.a	10,9	170	0,624	11 526,00	109
VCI	Suzuki	Ignis	n.a	12,7	165	0,650	16 532,00	112
VCI	Mitsubishi	Space Star	n.a	12,6	180	0,689	12 350,00	121
VCI	Smart	Fortwo	n.a	15,6	151	0,585	16 990,00	104
VCI	Smart	Forfour	n.a	16,7	151	0,611	17 900,00	108
VE	Dacia	Spring	230	19,1	125	0,140	16 800,00	n.a
VE	Smart	Fortwo EQ	133	11,6	130	1,300	22 845,00	n.a
VE	Fiat	500e	320	9	150	1,500	26 800,00	n.a
VE	Renault	Twingo ZE	190	12,9	135	1,350	22 200,00	n.a

Tabela A.2: Ficha técnica - Veículos segmento B

Veículo	Marca	Modelo	Autonomia (km)	Tempo de Aceleração (s)	Velocidade Máxima (km/h)	Consumo (kWh/km)	Preço (€)	Emissões de CO2 (g/km)
VCI	Renault	Clio	n.a	11,8	187	0,676	17650	117
VCI	Peugeot	208	n.a	13,2	174	0,689	15590	119
VCI	Opel	Corsa	n.a	13,2	174	0,689	16410	117
VCI	Toyota	Yaris	n.a	14,5	160	0,741	19190	130
VCI	VW	Polo	n.a	15,4	171	0,702	17560	125
VCI	Dacia	Sandero	n.a	11,7	178	0,689	9000	120
VCI	Ford	Fiesta	n.a	10,5	183	0,767	16608	141
VCI	Citroen	C3	n.a	13,3	166	0,702	14622	123
VCI	Mini	One	n.a	10,6	192	0,728	22400	126
VE	Renault	Zoe	313	11,4	135	0,172	32740	n.a
VE	Renault	Zoe	395	11,4	135	0,173	33740	n.a
VCI	Skoda	Fabia	n.a	14,9	168	0,611	20145	108
VCI	Hyundai	i20	n.a	13,1	173	0,689	14955	120
VCI	Seat	Ibiza	n.a	14,7	167	0,767	17456	117
VCI	Audi	A1	n.a	10,8	191	0,663	24131	109
VCI	Suzuki	Swift	n.a	13,1	180	0,559	16901	88
VCI	Nissan	Micra	n.a	15,1	161	0,715	14195	126
VCI	Kia	Rio	n.a	10,4	188	0,754	14750	126
VEH	Honda	Jazz	n.a	9,5	175	0,494	25500	102
VCI	Fiat	500L	n.a	12,8	178	0,650	24850	131
VCI	Mazda	2	n.a	11,4	171	0,689	22525	120
VE	Honda	e	222	9	145	0,172	36360	n.a
VE	Honda	e-Advance	210	8,3	145	0,178	38885	n.a
VCI	Hyundai	Kauai	n.a	12	181	0,780	20006	136
VEH	Hyundai	Kauai	nd	10,3	190	0,663	27580	134
VE	Hyundai	Kauai	305	9,9	155	0,130	33005	n.a
VE	Hyundai	Kauai	484	7,9	167	0,133	35805	n.a
VE	Peugeot	e-208	340	8,1	150	0,163	28420	n.a
VE	Peugeot	e-208	336	8,1	150	0,165	31770	n.a
VE	BMW	i3	359	7,3	150	0,131	42220	n.a
VE	BMW	i3	338	6,9	160	0,143	46020	n.a
VE	Opel	Corsa-e	333	8,1	150	0,167	30110	n.a

Tabela A.3: Ficha técnica - Veículos segmento C

Veículo	Marca	Modelo	Autonomia (km)	Tempo de Aceleração (s)	Velocidade Máxima (km/h)	Consumo (kWh/km)	Preço (€)	Emissões de CO ₂ (g/km)
VCI	VW	Golf	n.a	10,2	202	0,650	24881	120
VCI	Skoda	Octavia	n.a	10,8	208	0,455	23024	91
VCI	Ford	Focus	n.a	12,5	184	0,741	26287	137
VCI	Mercedes	Classe A	n.a	9,2	215	0,806	27500	140
VCI	Toyota	Corolla	n.a	10,1	200	0,806	20490	141
VCI	Seat	Leon	n.a	10,8	192	0,702	25439	124
VCI	BMW	Série 1	n.a	10,6	200	0,832	27600	153
VCI	Audi	A3	n.a	10,6	204	0,559	28634	104
VCI	Peugeot	308	n.a	11,1	188	0,702	19350	121
VCI	Renault	Megane	n.a	10,6	192	0,741	26150	130
VCI	Kia	Ceed	n.a	11,3	187	0,754	20050	133
VCI	Opel	Astra	n.a	10,4	200	0,702	24620	122
VCI	Mercedes	CLA	n.a	9,4	216	0,767	39000	133
VE	VW	ID.3 Performance	425	7,3	160	0,150	35416	n.a
VE	VW	ID.3 Pro S	549	7,9	160	0,138	48567	n.a
VCI	Fiat	Tipo	n.a	11,8	192	0,715	19244	127
VCI	Skoda	Scala	n.a	nd	199	0,611	21334	110
VCI	Hyundai	i30	n.a	11,2	196	0,689	18956	121
VCI	BMW	Série2	n.a	11,3	190	0,806	32207	141
VHR	BMW	Série 2	41	6,7	202	0,299	42480	52
VE	Nissan	Leaf	270	8,6	144	0,170	26400	n.a
VE	Nissan	Leaf E+	385	7,1	157	0,180	31550	n.a
VCI	Mazda	3	n.a	n.d	n.d	0,728	29500	128
VE	Hyundai	Ioniq	311	9,9	165	0,115	42021	n.a
VHR	Hyundai	Ioniq	42	10,6	178	0,143	41071	26
VCI	Honda	Civic	n.a	10,8	203	0,767	24260	134
VCI	Mini	Clubman	n.a	9,1	205	0,793	27300	140
VCI	Alfa Romeo	Giulietta	n.a	9,4	195	0,923	25255	166
VHR	Toyota	Prius	40	11,8	180	0,169	44290	29
VCI	Citroen	C4	n.a	10,9	185	0,702	20657	122
VEH	Suzuki	Swace	nd	11,1	180	0,455	28348	103
VHR	VW	Golf GTE	64	6,7	225	0,148	41532	26
VEH	Kia	Niro	nd	11,5	162	0,624	26050	99,8
VHR	Kia	Niro	58	10,8	172	0,182	34400	31
VE	Kia	e-Niro	312	9,8	155	0,159	34150	n.a
VE	Kia	e-Niro	455	7,8	167	0,159	41750	n.a
VE	Mazda	MX-30	200	9,7	140	0,190	36240	n.a
VE	VW	ID.4 (147 hp)	344	10,9	160	0,168	39354	n.a
VE	VW	ID.4 (214 hp)	518	8,5	160	0,173	46657	n.a
VE	Ford	Mustang Mach-e (198kW)	570	7	180	0,172	49901	n.a
VE	Ford	Mustang Mach-e (216kW)	430	7	180	0,165	57835	n.a

Tabela A.4: Ficha técnica - Veículo segmento D

Veículo	Marca	Modelo	Autonomia (km)	Tempo de Aceleração (s)	Velocidade Máxima (km/h)	Consumo (kWh/km)	Preço (€)	Emissões de CO2 (g/km)
VCI	BMW	Série 3	n.a	8,9	225	0,858	45380	148
VCI	VW	Passat	n.a	8,7	220	0,663	30621	117
VE	Tesla	Model 3 (Standard Range)	430	5,6	225	0,110	50900	n.a
VE	Tesla	Model 3 (Long Range)	614	4,4	233	0,132	57990	n.a
VCI	Mercedes	Classe C	n.a	9,6	216	0,754	48000	146
VCI	Audi	A4	n.a	7,1	210	0,741	44950	136
VCI	Skoda	Superb	n.a	9	220	0,507	36171	103
VCI	Volvo	S60/V60	n.a	9	180	0,858	49526	154
VCI	Peugeot	508	n.a	10	213	0,754	32540	131
VCI	Audi	A5	n.a	7,5	241	0,754	47356	130
VCI	Ford	Mondeo	n.a	9,1	214	0,832	42054	146
VCI	Opel	Insignia	n.a	7,7	235	0,650	36710	131
VCI	BMW	Série 4	n.a	7,5	240	0,884	50860	152
VCI	VW	Arteon	n.a	7,9	237	0,829	37902	145
VEH	Toyota	Camry	n.d	8,3	180	0,559	48060	98
VE	Polestar	2	430	nd	nd	0,150	n.d	n.a
VE	Polestar	2	500	4,7	250	0,150	60000	n.a
VCI	Renault	Talisman	n.a	10,2	207	0,767	n.d	134
VCI	Alfa Romeo	Giulia	n.a	6,6	230	0,936	48554	163
VCI	Mazada	6	n.a	9,5	208	0,871	41708	153
VCI	Jaguar	XE	n.a	6,7	242	0,637	54256	128
VE	Mercedes	EQC	410	5,1	180	0,223	71899	n.a
VE	Jaguar	I-Pace	440	6,4	180	0,230	81787	n.a

Tabela A.5: Ficha técnica - Veículos segmento E

Veículo	Marca	Modelo	Autonomia (km)	Tempo de Aceleração (s)	Velocidade Máxima (km/h)	Consumo (kWh/km)	Preço (€)	Emissões de CO2 (g/km)
VCI	Mercedes	Classe E	n.a	7,5	240	0,689	61599	138
VCI	BMW	Série 5	n.a	7,9	235	0,650	60100	135
VCI	Audi	A6	n.a	8,4	246	0,585	61252	119
VCI	Volvo	V90	n.a	7,9	180	0,767	65443	154
VE	Porsche	Taycan	431	4	250	0,181	87127	n.a
VCI	Audi	A7	n.a	8,4	246	0,598	71502	146
VE	Tesla	Model S	663	3,2	250	0,143	90990	n.a
VCI	Mercedes	CLS	n.a	6	250	0,702	75700	142
VEH	Lexus	ES 300h	n.d	8,9	180	0,572	62900	100
VCI	Jaguar	XF	n.a	6,6	250	0,650	61996	131
VCI	BMW	Série 6	n.a	6,3	250	1,157	71900	202
VHR	Polestar	1	124	4,2	250	0,169	150000	30
VE	Audi	e-tron	411	6,6	200	0,247	85869	n.a
VE	Tesla	Model X	580	3,9	250	0,155	99990	n.a
VE	Volvo	XC40 Recharge	418	4,9	180	0,170	57151	n.a

Tabela A.6: ACV - Veículos segmento A

Veículo	Distância (km)			Emissões (kg CO2)											
	Marca	Modelo	Total	15000,00			75000,00			150000,00			150000 c/ Substituição de Bateria		
				Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total
VCI	Fiat	500	6 359,70	4 297,50	2 062,20	14 608,50	4 297,50	10 311,00	14 608,50	4 297,50	20 622,00	24 919,50	4 297,50	20 622,00	24 919,50
VCI	Toyota	Aygo	7 665,00	5 580,00	2 085,00	16 005,00	5 580,00	10 425,00	16 005,00	5 580,00	20 850,00	26 430,00	5 580,00	20 850,00	26 430,00
VCI	Renault	Twingo	8 150,10	5 989,50	2 160,60	16 792,50	5 989,50	10 803,00	16 792,50	5 989,50	21 606,00	27 595,50	5 989,50	21 606,00	27 595,50
VCI	VW	Up	6 635,10	4 459,50	2 175,60	15 337,50	4 459,50	10 878,00	15 337,50	4 459,50	21 756,00	26 215,50	4 459,50	21 756,00	26 215,50
VCI	Hyundai	i10	6 416,10	4 225,50	2 190,60	15 178,50	4 225,50	10 953,00	15 178,50	4 225,50	21 906,00	26 131,50	4 225,50	21 906,00	26 131,50
VCI	Kia	Picanto	6 093,60	3 933,00	2 160,60	14 736,00	3 933,00	10 803,00	14 736,00	3 933,00	21 606,00	25 539,00	3 933,00	21 606,00	25 539,00
VCI	Peugeot	108	5 691,90	3 667,50	2 024,40	13 789,50	3 667,50	10 122,00	13 789,50	3 667,50	20 244,00	23 911,50	3 667,50	20 244,00	23 911,50
VCI	Citroen	C1	5 676,90	3 667,50	2 009,40	13 714,50	3 667,50	10 047,00	13 714,50	3 667,50	20 094,00	23 761,50	3 667,50	20 094,00	23 761,50
VCI	Suzuki	Ignis	8 055,00	5 985,00	2 070,00	16 335,00	5 985,00	10 350,00	16 335,00	5 985,00	20 700,00	26 685,00	5 985,00	20 700,00	26 685,00
VCI	Mitsubishi	Space Star	8 258,40	6 030,00	2 228,40	17 172,00	6 030,00	11 142,00	17 172,00	6 030,00	22 284,00	28 314,00	6 030,00	22 284,00	28 314,00
VCI	Smart	Forfour	5 893,50	3 982,50	1 911,00	13 537,50	3 982,50	9 555,00	13 537,50	3 982,50	19 110,00	23 092,50	3 982,50	19 110,00	23 092,50
VCI	Smart	Forfour	6 351,60	4 365,00	1 986,60	14 298,00	4 365,00	9 933,00	14 298,00	4 365,00	19 866,00	24 231,00	4 365,00	19 866,00	24 231,00
VE	Dacia	Spring	11 560,66	10 987,28	5 733,38	2866,88	10 987,28	2866,88	13 854,16	10 987,28	5733,75	16 721,03	17 609,56	5733,75	23 343,31
VE	Smart	Fortwo EQ	9 895,21	9 276,46	6 18,75	3093,75	9 276,46	3093,75	12 370,21	9 276,46	6 187,5	15 463,96,34	13 625,42	6 187,50	19 812,92
VE	Fiat	500e	17 098,20	16 520,70	5 77,50	2 887,5	16 520,70	2 887,5	19 408,20	16 520,70	5 775,00	22 295,70	26 898,90	5 775,00	32 673,90
VE	Renault	Twingo ZE	12 927,20	12 267,20	660,00	3 300	12 267,20	3 300	15 567,20	12 267,20	6 600,00	18 867,20	17 703,40	6 600,00	24 303,40
		VCI	6 770,58	4 681,88	2 088,70	15 125,38	4 681,88	10 443,50	15 125,38	4 681,88	20 887,00	25 568,88	4 681,88	20 887,00	25 568,88
		VE	12 870,32	12 262,91	607,41	3 037,03	12 262,91	3 037,03	15 299,94	12 262,91	6 074,06	18 336,97	18 959,32	6 074,06	25 033,38
	Média														

Tabela A.7: ACV - Veículos segmento B

Veículo	15000,00						75000,00						150000,00						150000 c/ Substituição de Bateria					
	Distância (km)		Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total				
	Marca	Modelo																			Uso	Total	Produção	Uso
VCI Renault		Chio	4 792,50	2 160,60	6 953,10	4 792,50	10 803,00	15 595,50	4 792,50	21 606,00	26 398,50	4 792,50	21 606,00	26 398,50	4 792,50	21 606,00	26 398,50	4 792,50	21 984,00	26 776,50				
VCI Peugeot		208	4 792,50	2 198,40	6 990,90	4 792,50	10 992,00	15 784,50	4 792,50	21 984,00	26 776,50	4 792,50	21 984,00	26 776,50	4 792,50	21 984,00	26 776,50	4 792,50	21 984,00	26 776,50				
VCI Opel		Corsa	4 410,00	2 168,40	6 578,40	4 410,00	10 842,00	15 252,00	4 410,00	21 684,00	26 094,00	4 410,00	21 684,00	26 094,00	4 410,00	21 684,00	26 094,00	4 410,00	21 684,00	26 094,00				
VCI Toyota		Yaris	4 365,00	2 394,60	6 759,60	4 365,00	11 973,00	16 338,00	4 365,00	23 946,00	28 311,00	4 365,00	23 946,00	28 311,00	4 365,00	23 946,00	28 311,00	4 365,00	23 946,00	28 311,00				
VCI VW		Polo	4 522,50	2 296,20	6 818,70	4 522,50	11 481,00	16 003,50	4 522,50	22 962,00	27 484,50	4 522,50	22 962,00	27 484,50	4 522,50	22 962,00	27 484,50	4 522,50	22 962,00	27 484,50				
VCI Daacia		Sandero	4 621,50	2 213,40	6 834,90	4 621,50	11 067,00	15 688,50	4 621,50	22 134,00	26 755,50	4 621,50	22 134,00	26 755,50	4 621,50	22 134,00	26 755,50	4 621,50	22 134,00	26 755,50				
VCI Ford		Fiesta	4 657,50	2 575,20	7 232,70	4 657,50	12 876,00	17 533,50	4 657,50	25 752,00	30 409,50	4 657,50	25 752,00	30 409,50	4 657,50	25 752,00	30 409,50	4 657,50	25 752,00	30 409,50				
VCI Citroen		C3	4 297,50	2 266,20	6 563,70	4 297,50	11 331,00	15 628,50	4 297,50	22 662,00	26 959,50	4 297,50	22 662,00	26 959,50	4 297,50	22 662,00	26 959,50	4 297,50	22 662,00	26 959,50				
VCI Mini		One	5 445,00	2 326,80	7 771,80	5 445,00	11 634,00	17 079,00	5 445,00	23 268,00	28 713,00	5 445,00	23 268,00	28 713,00	5 445,00	23 268,00	28 713,00	5 445,00	23 268,00	28 713,00				
VCI Skoda		Fabia	4 594,50	1 986,60	6 581,10	4 594,50	9 933,00	14 527,50	4 594,50	19 866,00	24 460,50	4 594,50	19 866,00	24 460,50	4 594,50	19 866,00	24 460,50	4 594,50	19 866,00	24 460,50				
VCI Hyundai		120	4 446,00	2 213,40	6 659,40	4 446,00	11 067,00	15 513,00	4 446,00	22 134,00	26 580,00	4 446,00	22 134,00	26 580,00	4 446,00	22 134,00	26 580,00	4 446,00	22 134,00	26 580,00				
VCI Seat		Ibiza	4 909,50	2 215,20	7 124,70	4 909,50	11 076,00	15 985,50	4 909,50	22 152,00	27 061,50	4 909,50	22 152,00	27 061,50	4 909,50	22 152,00	27 061,50	4 909,50	22 152,00	27 061,50				
VCI Audi		A1	4 792,50	2 032,80	6 825,30	4 792,50	10 164,00	14 956,50	4 792,50	20 328,00	25 120,50	4 792,50	20 328,00	25 120,50	4 792,50	20 328,00	25 120,50	4 792,50	20 328,00	25 120,50				
VCI Suzuki		Swift	6 142,50	1 655,40	7 797,90	6 142,50	8 277,00	14 419,50	6 142,50	16 554,00	22 696,50	6 142,50	16 554,00	22 696,50	6 142,50	16 554,00	22 696,50	6 142,50	16 554,00	22 696,50				
VCI Nissan		Micra	4 734,00	2 319,00	7 053,00	4 734,00	11 595,00	16 329,00	4 734,00	23 190,00	27 924,00	4 734,00	23 190,00	27 924,00	4 734,00	23 190,00	27 924,00	4 734,00	23 190,00	27 924,00				
VCI Kia		Rio	4 972,50	2 342,40	7 314,90	4 972,50	11 712,00	16 684,50	4 972,50	23 424,00	28 396,50	4 972,50	23 424,00	28 396,50	4 972,50	23 424,00	28 396,50	4 972,50	23 424,00	28 396,50				
VCI Fiat		500L	5 940,00	2 355,00	8 295,00	5 940,00	11 775,00	17 715,00	5 940,00	23 550,00	29 490,00	5 940,00	23 550,00	29 490,00	5 940,00	23 550,00	29 490,00	5 940,00	23 550,00	29 490,00				
VCI Mazda		2	4 500,00	2 508,00	7 008,00	4 500,00	11 067,00	15 567,00	4 500,00	20 400,00	25 836,00	4 500,00	20 400,00	25 836,00	4 500,00	20 400,00	25 836,00	4 500,00	20 400,00	25 836,00				
VCI Hyundai		Kanai	6 115,10	1 826,40	7 941,50	6 115,10	9 132,00	15 247,10	6 115,10	18 264,00	24 379,10	6 115,10	18 264,00	24 379,10	6 115,10	18 264,00	24 379,10	6 115,10	18 264,00	24 379,10				
VEH Hyundai		Kanai VEH	6 923,98	2 407,80	9 331,78	6 923,98	12 039,00	18 962,98	6 923,98	24 078,00	31 001,98	7 309,45	24 078,00	31 387,45	7 309,45	24 078,00	31 387,45	7 309,45	24 078,00	31 387,45				
VE Renault		Zoe (41 kWh)	19 077,10	709,50	19 786,60	19 077,10	3 547,50	22 634,60	19 077,10	7 095,00	26 172,10	29 208,20	19 077,10	7 095,00	26 172,10	29 208,20	36 303,20	19 077,10	7 095,00	26 172,10				
VE Renault		Zoe (52 kWh)	21 795,20	713,63	22 508,83	21 795,20	3 568,13	25 363,33	21 795,20	7 136,25	28 931,45	34 644,40	21 795,20	7 136,25	28 931,45	34 644,40	41 780,65	21 795,20	7 136,25	28 931,45				
VE Honda		Jazz	5 436,00	2 508,00	7 944,00	5 436,00	12 540,00	17 976,00	5 436,00	20 400,00	25 836,00	5 436,00	20 400,00	25 836,00	5 436,00	20 400,00	25 836,00	5 436,00	20 400,00	25 836,00				
VEH Hyundai		Jazz	6 115,10	1 826,40	7 941,50	6 115,10	9 132,00	15 247,10	6 115,10	18 264,00	24 379,10	6 115,10	18 264,00	24 379,10	6 115,10	18 264,00	24 379,10	6 115,10	18 264,00	24 379,10				
VE Hyundai		Kanai VEH	6 923,98	2 407,80	9 331,78	6 923,98	12 039,00	18 962,98	6 923,98	24 078,00	31 001,98	7 309,45	24 078,00	31 387,45	7 309,45	24 078,00	31 387,45	7 309,45	24 078,00	31 387,45				
VE Renault		Zoe (41 kWh)	19 077,10	709,50	19 786,60	19 077,10	3 547,50	22 634,60	19 077,10	7 095,00	26 172,10	29 208,20	19 077,10	7 095,00	26 172,10	29 208,20	36 303,20	19 077,10	7 095,00	26 172,10				
VE Renault		Zoe (52 kWh)	21 795,20	713,63	22 508,83	21 795,20	3 568,13	25 363,33	21 795,20	7 136,25	28 931,45	34 644,40	21 795,20	7 136,25	28 931,45	34 644,40	41 780,65	21 795,20	7 136,25	28 931,45				
VE Honda		Jazz	5 436,00	2 508,00	7 944,00	5 436,00	12 540,00	17 976,00	5 436,00	20 400,00	25 836,00	5 436,00	20 400,00	25 836,00	5 436,00	20 400,00	25 836,00	5 436,00	20 400,00	25 836,00				
VEH Hyundai		Kanai VEH	6 923,98	2 407,80	9 331,78	6 923,98	12 039,00	18 962,98	6 923,98	24 078,00	31 001,98	7 309,45	24 078,00	31 387,45	7 309,45	24 078,00	31 387,45	7 309,45	24 078,00	31 387,45				
VE Renault		Zoe (41 kWh)	19 077,10	709,50	19 786,60	19 077,10	3 547,50	22 634,60	19 077,10	7 095,00	26 172,10	29 208,20	19 077,10	7 095,00	26 172,10	29 208,20	36 303,20	19 077,10	7 095,00	26 172,10				
VE Renault		Zoe (52 kWh)	21 795,20	713,63	22 508,83	21 795,20	3 568,13	25 363,33	21 795,20	7 136,25	28 931,45	34 644,40	21 795,20	7 136,25	28 931,45	34 644,40	41 780,65	21 795,20	7 136,25	28 931,45				
VE Honda		Jazz	5 436,00	2 508,00	7 944,00	5 436,00	12 540,00	17 976,00	5 436,00	20 400,00	25 836,00	5 436,00	20 400,00	25 836,00	5 436,00	20 400,00	25 836,00	5 436,00	20 400,00	25 836,00				
VEH Hyundai		Kanai VEH	6 923,98	2 407,80	9 331,78	6 923,98	12 039,00	18 962,98	6 923,98	24 078,00	31 001,98	7 309,45	24 078,00	31 387,45	7 309,45	24 078,00	31 387,45	7 309,45	24 078,00	31 387,45				
VE Hyundai		Kanai (39,2 kWh)	16 593,82	536,25	17 130,07	16 593,82	2 681,25	19 275,07	16 593,82	5 362,50	21 956,32	26 280,14	16 593,82	5 362,50	21 956,32	26 280,14	31 642,64	16 593,82	5 362,50	21 956,32				
VE Hyundai		Kanai (64 kWh)	23 284,40	548,63	23 833,03	23 284,40	2 743,13	26 027,53	23 284,40	5 486,25	28 770,65	39 098,80	23 284,40	5 486,25	28 770,65	39 098,80	44 585,05	23 284,40	5 486,25	28 770,65				
VE Peugeot		e-208	19 375,00	672,38	20 047,38	19 375,00	3 361,88	22 736,88	19 375,00	6 723,75	26 098,75	31 730,00	19 375,00	6 723,75	26 098,75	31 730,00	44 455,75	19 375,00	6 723,75	26 098,75				
VE BMW		i3	16 480,12	549,38	17 029,50	16 480,12	2 949,38	19 182,00	16 480,12	5 403,75	21 883,87	30 098,80	16 480,12	5 403,75	21 883,87	30 098,80	44 502,55	16 480,12	5 403,75	21 883,87				
VE BMW		i3	16 570,12	589,88	17 160,00	16 570,12	2 949,38	19 519,50	16 570,12	5 898,75	22 468,87	31 257,50	16 570,12	5 898,75	22 468,87	31 257,50	44 962,49	16 570,12	5 898,75	22 468,87				
VE Corsica		e	18 902,50	688,88	19 591,38	18 902,50	3 444,38	22 346,88	18 902,50	6 888,75	25 791,25	31 257,50	18 902,50	6 888,75	25 791,25	31 257,50	44 962,49	18 902,50	6 888,75	25 791,25				
VCI VEH		e	4 861,66	2 233,74	7 095,39	4 861,66	11 168,68	16 030,34	4 861,66	22 091,05	26 952,71	4 861,66	22 091,05	26 952,71	4 861,66	22 091,05	26 952,71	4 861,66	22 091,05	26 952,71				
Media		VEH	6 519,54	2 117,10	8 636,64	6 519,54	10 585,50	17 105,04	6 519,54	21 171,00	27 690,54	6 519,54	21 171,00	27 690,54	6 519,54	21 171,00								

Tabela A.8: ACV - Veículos segmento C

Veículo	Distância (km)			Emissões (kg CO2)								
	Marca	Modelo		15000,00		75000,00		150000,00		150000 c/ Substituição de Bateria		
				Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total
VCI	VW	Golf	7 878,00	5 688,00	10 950,00	16 638,00	5 688,00	21 900,00	27 588,00	5 688,00	21 900,00	27 588,00
VCI	Skoda	Octavia	7 155,00	5 517,00	8 190,00	13 707,00	5 517,00	13 650,02	19 167,02	5 517,00	13 650,02	19 167,02
VCI	Ford	Focus	7 998,60	5 499,00	12 498,00	17 997,00	5 499,00	24 996,00	30 495,00	5 499,00	24 996,00	30 495,00
VCI	Mercedes	Classe A	8 208,60	5 625,00	12 918,00	18 543,00	5 625,00	25 836,00	31 461,00	5 625,00	25 836,00	31 461,00
VCI	Toyota	Corolla	8 066,10	5 467,50	12 993,00	18 460,50	5 467,50	25 986,00	31 453,50	5 467,50	25 986,00	31 453,50
VCI	Seat	Leon	7 816,20	5 535,00	11 406,00	16 941,00	5 535,00	22 812,00	28 347,00	5 535,00	22 812,00	28 347,00
VCI	BMW	Série 1	8 621,70	5 827,50	13 971,00	19 798,50	5 827,50	27 942,00	33 769,50	5 827,50	27 942,00	33 769,50
VCI	Audi	A3	7 272,90	5 377,50	9 477,00	14 854,50	5 377,50	18 954,00	24 331,50	5 377,50	18 954,00	24 331,50
VCI	Peugeot	308	2 236,20	5 197,50	11 181,00	16 378,50	5 197,50	22 362,00	27 559,50	5 197,50	22 362,00	27 559,50
VCI	Renault	Megane	7 821,60	5 427,00	11 973,00	17 400,00	5 427,00	23 946,00	29 373,00	5 427,00	23 946,00	29 373,00
VCI	Kia	Ceed	7 833,90	5 386,50	12 237,00	17 623,50	5 386,50	24 474,00	29 860,50	5 386,50	24 474,00	29 860,50
VCI	Opel	astra	7 561,20	5 310,00	11 256,00	16 566,00	5 310,00	22 512,00	27 823,00	5 310,00	22 512,00	27 823,00
VCI	Mercedes	CLA	8 282,70	5 827,50	12 276,00	18 103,50	5 827,50	24 552,00	30 379,50	5 827,50	24 552,00	30 379,50
VCI	Fiat	Tipo	7 891,50	5 557,50	11 670,00	17 227,50	5 557,50	23 340,00	28 897,50	5 557,50	23 340,00	28 897,50
VCI	Skoda	Scala	7 070,10	5 053,50	10 083,00	15 136,50	5 053,50	20 166,00	25 219,50	5 053,50	20 166,00	25 219,50
VCI	Hyundai	i30	7 228,40	5 494,50	11 142,00	16 636,50	5 494,50	22 284,00	27 778,50	5 494,50	22 284,00	27 778,50
VCI	BMW	Série2	8 561,10	5 962,50	12 993,00	18 955,50	5 962,50	25 986,00	31 948,50	5 962,50	25 986,00	31 948,50
VCI	Mazda	3	2 356,80	5 620,50	11 784,00	17 404,50	5 620,50	23 568,00	29 188,50	5 620,50	23 568,00	29 188,50
VCI	Honda	Civic	2 470,20	6 075,00	12 351,00	18 426,00	6 075,00	24 702,00	30 777,00	6 075,00	24 702,00	30 777,00
VCI	Mini	Clubman	2 575,80	5 737,50	12 879,00	18 616,50	5 737,50	25 758,00	31 495,50	5 737,50	25 758,00	31 495,50
VCI	Alfa Romeo	Giulietta	3 043,80	6 097,50	15 219,00	21 316,50	6 097,50	30 438,00	36 535,50	6 097,50	30 438,00	36 535,50
VCI	Citroen	C4	2 251,20	5 517,00	11 256,00	16 773,00	5 517,00	22 512,00	28 029,00	5 517,00	22 512,00	28 029,00
VEH	Suzuki	Swace	1 818,00	6 187,50	9 090,00	15 277,50	6 187,50	18 180,00	24 367,50	6 187,50	18 180,00	24 367,50
VEH	Kia	Niro	1 871,40	9 006,88	9 357,00	16 492,48	7 135,48	18 714,00	25 849,48	7 520,95	18 714,00	26 234,95
VHR	BMW	Série 2 XE	10 219,57	9 260,17	4 797,00	14 057,17	9 260,17	9 594,00	18 854,17	11 162,84	9 594,00	20 756,84
VHR	Hyundai	Ioniq	8 799,49	8 323,69	2 379,00	10 702,69	8 323,69	4 758,00	13 081,69	10 522,88	4 758,00	15 280,88
VHR	Toyota	Prius	9 879,01	8 744,48	5 672,63	14 417,11	8 744,48	11 345,25	20 089,73	10 918,96	11 345,25	22 264,21
VHR	Kia	Niro	10 108,02	9 034,69	5 366,63	14 401,32	9 034,69	10 733,25	19 767,94	11 233,88	10 733,25	21 967,13
VHR	VW	Golf GTE	11 029,89	9 877,84	5 760,23	15 638,07	9 877,84	11 520,45	21 398,29	12 447,68	11 520,45	23 968,13
VE	VW	ID.3	6 187,55	21 954,80	3 093,75	25 048,55	21 954,80	6 187,50	28 142,30	36 286,60	6 187,50	42 474,10
VE	VW	ID.3 (Pro S)	2 218,95	26 649,70	2 846,25	29 495,95	26 649,70	5 692,50	32 342,20	45 676,40	5 692,50	51 308,90
VE	Nissan	Leaf	17 924,75	17 223,50	3 506,25	20 729,75	17 223,50	7 012,50	24 236,00	27 107,50	7 012,50	34 120,00
VE	Nissan	Leaf E+	23 402,20	22 659,70	3 712,50	26 372,20	22 659,70	7 425,00	30 084,70	37 979,90	7 425,00	45 404,90
VE	Hyundai	Ioniq	14 400,63	13 926,55	2 371,88	16 298,43	13 926,55	4 743,75	18 670,30	21 463,10	4 743,75	26 206,85
VE	Kia	e-Niro (39,2 kWh)	16 737,82	16 737,82	3 279,38	20 017,20	16 737,82	6 558,75	23 296,57	26 424,14	6 558,75	32 982,89
VE	Kia	e-Niro (64 kWh)	18 186,78	17 530,90	3 279,38	20 817,28	17 530,90	6 558,75	24 089,65	33 345,30	6 558,75	39 904,05
VE	Mazda	MIX-30	17 025,80	16 242,05	3 918,75	20 160,80	16 242,05	7 837,50	24 079,55	25 014,10	7 837,50	32 851,60
VE	VW	ID.4 (52 kWh)	22 650,20	21 957,20	3 465,00	25 422,20	21 957,20	6 930,00	28 887,20	34 806,40	6 930,00	41 736,40
VE	VW	ID.4 (77 kWh)	28 848,33	28 134,70	3 568,13	31 702,83	28 134,70	7 136,25	35 270,95	47 161,40	7 136,25	54 297,65
VE	Ford	Mustang-e (75,7 kWh)	29 089,97	28 380,47	3 547,50	31 927,97	28 380,47	7 095,00	35 475,47	47 085,94	7 095,00	54 180,94
VE	Ford	Mustang-e (98,8 kWh)	34 769,11	34 088,48	3 403,13	37 491,61	34 088,48	6 806,25	40 894,73	58 501,96	6 806,25	65 308,21
		VCI	7 951,87	5 581,84	11 850,14	17 431,98	5 581,84	23 576,18	29 158,02	5 581,84	23 576,18	29 158,02
		VEH	8 506,19	6 661,49	9 223,50	15 884,99	6 661,49	18 447,00	25 108,49	6 854,23	18 447,00	25 301,23
		VHR	9 551,52	8 840,76	4 553,81	13 394,57	8 840,76	9 107,63	17 948,38	10 959,64	9 107,63	20 067,27
		VE	22 790,35	22 123,82	3 332,66	25 456,48	22 123,82	6 665,31	28 789,14	36 737,73	6 665,31	43 403,04

Tabela A.9: ACV - Veículos segmento D

Distância (km)			15000,00			Emissões (kg CO2)			75000,00			150000,00			150000 c/ Substituição de Bateria		
Veículo	Marca	Modelo	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total
VCI	BMW	Série 3	6 502,50	2 734,80	9 237,30	6 502,50	13 674,00	20 176,50	6 502,50	27 348,00	33 850,50	6 502,50	27 348,00	33 850,50	6 502,50	27 348,00	33 850,50
VCI	VW	Passat	6 412,50	2 152,80	8 565,30	6 412,50	10 764,00	17 176,50	6 412,50	21 528,00	27 940,50	6 412,50	21 528,00	27 940,50	6 412,50	21 528,00	27 940,50
VCI	Mercedes	Classe C	6 120,00	2 642,40	8 762,40	6 120,00	13 212,00	19 332,00	6 120,00	26 424,00	32 544,00	6 120,00	26 424,00	32 544,00	6 120,00	26 424,00	32 544,00
VCI	Audi	A4	6 570,00	2 484,60	9 054,60	6 570,00	12 423,00	18 993,00	6 570,00	24 846,00	31 416,00	6 570,00	24 846,00	31 416,00	6 570,00	24 846,00	31 416,00
VCI	Skoda	Superb	6 547,50	1 849,20	8 396,70	6 547,50	9 246,00	15 793,50	6 547,50	18 492,00	25 039,50	6 547,50	18 492,00	25 039,50	6 547,50	18 492,00	25 039,50
VCI	Volkvo	V60	7 348,50	2 824,80	10 173,30	7 348,50	14 124,00	21 472,50	7 348,50	28 248,00	35 596,50	7 348,50	28 248,00	35 596,50	7 348,50	28 248,00	35 596,50
VCI	Peugeot	508	6 187,50	2 417,40	8 604,90	6 187,50	12 087,00	18 604,50	6 187,50	24 174,00	30 361,50	6 187,50	24 174,00	30 361,50	6 187,50	24 174,00	30 361,50
VCI	Audi	A5	6 592,50	2 402,40	8 994,90	6 592,50	12 012,00	18 604,50	6 592,50	24 024,00	30 616,50	6 592,50	24 024,00	30 616,50	6 592,50	24 024,00	30 616,50
VCI	Ford	Mondeo	6 772,50	2 689,20	9 461,70	6 772,50	13 446,00	20 218,50	6 772,50	26 892,00	33 664,50	6 772,50	26 892,00	33 664,50	6 772,50	26 892,00	33 664,50
VCI	Opel	Insignia	6 727,50	2 355,00	9 082,50	6 727,50	11 775,00	18 502,50	6 727,50	23 550,00	30 277,50	6 727,50	23 550,00	30 277,50	6 727,50	23 550,00	30 277,50
VCI	BMW	Série 4	6 750,00	2 810,40	9 560,40	6 750,00	14 052,00	20 802,00	6 750,00	28 104,00	34 854,00	6 750,00	28 104,00	34 854,00	6 750,00	28 104,00	34 854,00
VCI	VW	Arteon	7 200,00	2 672,64	9 872,64	7 200,00	13 363,20	20 563,20	7 200,00	26 726,40	33 926,40	7 200,00	26 726,40	33 926,40	7 200,00	26 726,40	33 926,40
VCI	Renault	Talisman	6 151,50	2 470,20	8 621,70	6 151,50	12 351,00	18 502,50	6 151,50	24 702,00	30 853,50	6 151,50	24 702,00	30 853,50	6 151,50	24 702,00	30 853,50
VCI	Alfa Romeo	Giulia	6 768,00	3 006,60	9 774,60	6 768,00	15 033,00	21 801,00	6 768,00	30 066,00	36 834,00	6 768,00	30 066,00	36 834,00	6 768,00	30 066,00	36 834,00
VCI	Mazda	6	6 187,50	2 817,60	9 005,10	6 187,50	14 088,00	20 275,50	6 187,50	28 176,00	34 363,50	6 187,50	28 176,00	34 363,50	6 187,50	28 176,00	34 363,50
VCI	Jaguar	XE	7 249,50	2 302,20	9 551,70	7 249,50	11 511,00	18 760,50	7 249,50	23 022,00	30 271,50	7 249,50	23 022,00	30 271,50	7 249,50	23 022,00	30 271,50
VEH	Toyota	Canary	7 572,86	1 805,40	9 378,26	7 572,86	9 027,00	16 599,86	7 572,86	18 054,00	25 626,86	7 968,22	18 054,00	26 022,22	7 968,22	18 054,00	26 022,22
VE	Tesla	Model 3 (S. Range)	19 483,00	453,75	19 936,75	19 483,00	2 268,75	21 751,75	19 483,00	4 537,50	24 020,50	31 838,00	19 483,00	4 537,50	24 020,50	31 838,00	36 375,50
VE	Tesla	Model 3 (L. Range)	26 524,90	544,30	27 069,40	26 524,90	2 722,50	29 247,40	26 524,90	5 445,00	31 969,90	44 810,30	26 524,90	5 445,00	31 969,90	44 810,30	50 255,30
VE	Pelestar	2 (64 kWh)	9 683,40	618,75	10 302,15	24 364,40	3 083,75	27 448,15	24 364,40	6 187,50	30 551,90	40 178,80	24 364,40	6 187,50	30 551,90	40 178,80	46 366,30
VE	Pelestar	2 (78 kWh)	27 823,80	618,75	28 442,55	27 823,80	3 093,75	30 917,55	27 823,80	6 187,50	34 011,30	47 097,60	27 823,80	6 187,50	34 011,30	47 097,60	53 285,10
VE	Mercedes	EQC	30 545,50	919,88	31 465,38	30 545,50	4 599,38	35 144,88	30 545,50	9 198,75	39 744,25	50 313,50	30 545,50	9 198,75	39 744,25	50 313,50	59 512,25
VE	Jaguar	I-Pace	31 837,50	948,75	32 786,25	31 837,50	4 743,75	36 581,25	31 837,50	9 487,50	41 325,00	54 076,50	31 837,50	9 487,50	41 325,00	54 076,50	63 564,00
Media			6 630,47	2 539,52	9 169,98	6 630,47	12 097,38	19 328,04	6 630,47	25 395,15	32 025,62	6 630,47	25 395,15	32 025,62	6 630,47	25 395,15	32 025,62
			24 316,35	684,06	25 000,41	26 763,18	3 420,31	30 183,50	26 763,18	6 840,63	33 603,81	44 719,12	26 763,18	6 840,63	33 603,81	44 719,12	51 559,74

Tabela A.10: ACV - Veículos segmento E

Veículo		Distância (km)				Emissões (kg CO2)						150000 c/ Substituição de Bateria				
		15000,00		75000,00		150000,00		150000,00		150000,00		150000,00		150000,00		
		Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total	Produção	Uso	Total
VCI	Mercedes	Classe E	2 483,40	9 683,40	7 200,00	12 417,00	19 617,00	7 200,00	24 834,00	32 034,00	7 200,00	24 834,00	32 034,00	7 200,00	24 834,00	32 034,00
VCI	BMW	Série 5	2 415,00	9 547,50	7 132,50	12 075,00	19 207,50	7 132,50	24 150,00	31 282,50	7 132,50	24 150,00	31 282,50	7 132,50	24 150,00	31 282,50
VCI	Audi	A6	2 136,00	9 381,00	7 245,00	10 680,00	17 925,00	7 245,00	21 360,00	28 605,00	7 245,00	21 360,00	28 605,00	7 245,00	21 360,00	28 605,00
VCI	Volvo	V90	2 770,20	10 523,70	7 753,50	13 851,00	21 604,50	7 753,50	27 702,00	35 455,50	7 753,50	27 702,00	35 455,50	7 753,50	27 702,00	35 455,50
VCI	Audi	A7	2 190,00	9 682,50	7 492,50	10 950,00	18 442,50	7 492,50	21 900,00	29 392,50	7 492,50	21 900,00	29 392,50	7 492,50	21 900,00	29 392,50
VCI	Mercedes	CLS	2 551,20	10 538,70	7 987,50	12 756,00	20 743,50	7 987,50	25 512,00	33 499,50	7 987,50	25 512,00	33 499,50	7 987,50	25 512,00	33 499,50
VCI	Jaguar	XF	2 355,00	10 162,50	7 807,50	11 775,00	19 582,50	7 807,50	23 550,00	31 357,50	7 807,50	23 550,00	31 357,50	7 807,50	23 550,00	31 357,50
VCI	BMW	Série 6	3 724,20	11 801,70	8 077,50	18 621,00	26 698,50	8 077,50	37 242,00	45 319,50	8 077,50	37 242,00	45 319,50	8 077,50	37 242,00	45 319,50
VEH	Lexus	ES 300h	1 843,20	9 290,70	7 447,50	9 216,00	16 663,50	7 447,50	18 432,00	25 879,50	7 447,50	18 432,00	25 879,50	7 447,50	18 432,00	25 879,50
VHR	Polestar	I	551,40	19 077,80	18 526,40	2 757,00	21 283,40	18 526,40	2 757,00	24 040,40	18 526,40	2 757,00	24 040,40	18 526,40	2 757,00	24 040,40
VE	Porsche	Taycan	29 087,82	746,63	29 834,45	29 087,82	3 733,13	32 820,95	29 087,82	7 466,25	36 554,07	48 658,14	7 466,25	56 124,39	7 466,25	56 124,39
VE	Tesla	Model S	589,88	33 374,88	32 785,00	2 949,38	35 734,38	32 785,00	5 898,75	38 683,75	32 785,00	5 898,75	38 683,75	32 785,00	5 898,75	38 683,75
VE	Audi	e-Tron	1 018,88	35 585,88	34 567,00	5 094,38	39 661,38	34 567,00	10 188,75	44 755,75	34 567,00	10 188,75	44 755,75	34 567,00	10 188,75	44 755,75
VE	Tesla	Model X	639,38	34 697,88	34 058,50	3 196,88	37 255,38	34 058,50	6 393,75	40 452,25	34 058,50	6 393,75	40 452,25	34 058,50	6 393,75	40 452,25
VE	Volvo	XC40 Recharge	701,25	27 679,05	26 977,80	3 506,25	30 484,05	26 977,80	7 012,50	33 990,30	26 977,80	7 012,50	33 990,30	26 977,80	7 012,50	33 990,30
		VCI	2 578,13	10 165,13	7 587,00	12 890,63	20 477,63	7 587,00	25 781,25	33 368,25	7 587,00	25 781,25	33 368,25	7 587,00	25 781,25	33 368,25
		VEH	1 843,20	9 290,70	7 447,50	9 216,00	16 663,50	7 447,50	18 432,00	25 879,50	7 447,50	18 432,00	25 879,50	7 447,50	18 432,00	25 879,50
		VHR	551,40	19 077,80	18 526,40	2 757,00	21 283,40	18 526,40	2 757,00	24 040,40	18 526,40	2 757,00	24 040,40	18 526,40	2 757,00	24 040,40
		VE	739,20	32 234,42	31 495,22	3 696,00	35 191,22	31 495,22	7 392,00	38 887,22	31 495,22	7 392,00	38 887,22	31 495,22	7 392,00	38 887,22
	Média															

Tabela A.1.1: Características dos veículos comparados

Segmento	Marca	Veículo	Modelo	Consumo de Combustível (l/100km)	Consumo de Energia (kWh/100km)	Custo de Aquisição (€)	Custo de Operação (€/km)						Custos de Manutenção (€/km)	Emissões em uso (kgCO ₂ /km)	Emissões Produção (kgCO ₂)
							Tarifa Simples	Tipo de Carregamento		Tipo de Carregamento		Público				Público
							Tarifa BI-Horária (Hora de Vazio)	Tarifa BI-Horária (Vazio)	Tarifa BI-Horária (Rápido)	Público (Não Rápido)					
A	Fiat	VCI	500	4,9	0	18 548	0,02	0,026	0,084	0,013	0,056	0,047	0,006	0,137	4 297,50
		VE	500 e	0	14	26 800							0,001	0,039	16 520,70
	Renault	VCI	Twingo	5,2	0	12 500	0,023	0,029	0,089	0,015	0,064	0,054	0,006	0,144	5 980,50
		VE	Twingo ZE	0	16	22 200							0,001	0,044	12 267,20
	Smart	VCI	ForTwo	4,5	4,5	16 990	0,022	0,028	0,077	0,014	0,060	0,050	0,006	0,127	3 982,50
		VE	ForTwo EQ	0	15	22 845							0,001	0,041	9 276,46
	Peugeot	VCI	208	5,3	0	15 500	0,024	0,030	0,091	0,015	0,065	0,055	0,006	0,147	4 792,50
		VE	e-208	0	16,3	28 420							0,001	0,045	19 375,00
	Kia	VCI	Kanai	6,0	0	20 006	0,024	0,028	0,087	0,013	0,067	0,057	0,006	0,167	5 436,00
		VEH	Kanai	5,1	0	27 580							0,006	0,161	6 923,98
B	Hyundai	VE	Kanai (39,2 kWh)	0	13	33 005	0,019	0,024	0,012	0,052	0,044	0,001	0,036	16 503,82	
		VE	Kanai (64 kWh)	0	13,3	35 805	0,019	0,014	0,091	0,012	0,053	0,045	0,001	0,037	23 284,40
	Opel	VCI	Corsa-e	5,3	0	16 410	0,024	0,031	0,086	0,015	0,067	0,056	0,006	0,145	4 410,00
		VE	Corsa-e	0	16,7	30 110							0,001	0,036	16 503,82
	VW	VCI	Golf	5,0	0	24 881	0,040	0,046	0,106	0,033	0,078	0,068	0,006	0,146	5 688,00
		VHR	Golf GTE	1,1	14,5	41 532							0,006	0,072	9 877,84
	BMW	VCI	Série 2	6,2	0	32 207	0,025	0,032	0,089	0,019	0,069	0,059	0,006	0,158	5 962,50
		VHR	Série 2 xE	2,3	0	42 480							0,006	0,064	9 260,17
	Hyundai	VHR	Ioniq	1,1	0	41 071	0,017	0,021	0,059	0,011	0,046	0,039	0,006	0,032	8 823,69
		VE	Ioniq	0	11,5	42 021							0,001	0,032	13 926,55
Kia	VEH	Niro	4,8	0	26 050	0,025	0,032	0,082	0,016	0,069	0,058	0,006	0,125	7 135,48	
	VHR	Niro	1,4	12,1	34 400	0,011	0,046	0,059	0,035	0,072	0,065	0,006	0,071	9 034,69	
C	Kia	VE	Niro (39,2 kWh)	0	15,9	34 150	0,023	0,029	0,015	0,064	0,053	0,001	0,044	16 737,82	
		VE	Niro (64 kWh)	0	15,9	41 750	0,023	0,029	0,015	0,064	0,053	0,001	0,044	17 530,90	
	VW	VE	ID.3	0	15	35 416	0,022	0,028	0,014	0,060	0,050	0,001	0,041	21 954,80	
		VE	ID.3 Pro	0	13,8	48 567	0,020	0,025	0,013	0,055	0,046	0,001	0,038	26 649,70	
	Nissan	VE	Leaf	0	17	26 400	0,025	0,031	0,016	0,057	0,043	0,001	0,043	17 223,50	
		VE	Leaf E+	0	18	31 550	0,026	0,033	0,017	0,072	0,060	0,001	0,046	22 659,70	
	VW	VE	ID.4	0	16,8	39 354	0,024	0,031	0,016	0,067	0,056	0,001	0,046	21 957,20	
		VE	ID.4 Pro	0	17,3	46 657	0,025	0,032	0,016	0,069	0,058	0,001	0,048	28 134,70	
	Tesla	VE	Model 3 (Standard Range)	0	11	50 900	0,016	0,020	0,010	0,044	0,037	0,001	0,030	19 483,00	
		VE	Model 3 (Long Range)	0	13,2	57 990	0,019	0,024	0,012	0,053	0,044	0,001	0,036	26 524,90	
Polestar	VE	2 (64 kWh)	0	15	60 00	0,022	0,028	0,014	0,060	0,050	0,001	0,041	9 683,4		
	VE	2 878 kWh)	0	15	60 00	0,022	0,028	0,014	0,060	0,050	0,001	0,041	27 823,80		

Tabela A.12: Custos variáveis - Segmento A

Distância (km)		Custos Variáveis (€)																
		Cenário 1 (15000km)				Cenário 2 (7500km)				Cenário 3 (15000km)								
Veículo	Marca	Modelo	Tipo de Carregamento				Tipo de Carregamento				Tipo de Carregamento							
			Doméstico Tarifa Simples	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Fora de Vazio)	Público (Rápido)	Público (Não Rápido)	Doméstico Tarifa Simples	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Fora de Vazio)	Público (Rápido)	Público (Não Rápido)	Doméstico Tarifa Simples	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Fora de Vazio)	Público (Rápido)	Público (Não Rápido)				
A	VCI	Fiat	500	1 349,79	1 375,50													
	VCI	Toyota	Aygo	1 375,50	1 375,50													
	VCI	Renault	Twingo	1 426,92	1 426,92													
	VCI	VW	Up!	1 426,92	1 426,92													
	VCI	Hyundai	i10	1 426,92	1 426,92													
	VCI	Kia	Picanto	1 426,92	1 426,92													
	VCI	Peugeot	108	1 324,08	1 324,08													
	VCI	Citroen	C1	1 324,08	1 324,08													
	VCI	Suzuki	Ignis	1 375,50	1 375,50													
	VCI	Mitsubishi	Space Star	1 452,63	1 452,63													
	VCI	Smart	For Two	1 246,95	1 246,95													
	VE	Dacia	Spring	207,65	849,00	715,36	771,00	1 581,41	1 980,03	1 038,27	425,00	3 652,80	3 102,83	3 978,06	2 076,51	8490,00	7 155,60	
	VE	Smart	ForTwo EQ	340,13	222,90	915,00	771,00	1 700,63	2 140,50	1 114,50	4575,00	3 930,00	3 401,25	4 281,00	2 229,00	9 150,00	7 710,00	
	VE	Fiat	500e	318,45	209,04	855,00	720,60	1 592,25	2 002,8	1 045,20	4275,00	3 678,00	3 184,504	4 005,60	2 090,40	8 550,00	7 206,00	
	VE	Renault	Twingo ZE	361,80	455,64	975,00	821,40	1 809,00	2 278,20	1 183,80	4875,00	4 182,00	3 618,00	4 556,40	2 367,60	9750,00	8 214,00	

Tabela A.13: Custos variáveis - Segmento B

Veículo	Marca	Modelo	Custo de Variáveis (€)																
			Cenário 1 (15000km)				Cenário 2 (75000km)				Cenário 3 (150000km)								
			Tipo de Carregamento		Tipo de Carregamento		Tipo de Carregamento		Tipo de Carregamento		Tipo de Carregamento		Tipo de Carregamento		Tipo de Carregamento				
Doméstico Tarifa Simples	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Fora de Vazio)	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Vazio)	Público (Rápido)	Público (Não Rápido)	Doméstico Tarifa Simples	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Fora de Vazio)	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Vazio)	Público (Rápido)	Público (Não Rápido)	Doméstico Tarifa Simples	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Fora de Vazio)	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Vazio)	Público (Rápido)	Público (Não Rápido)					
ICE	Renault	Clío	1 426,92																
ICE	Pugeot	208	1 452,63																
ICE	Opel	Corsa	1 452,63																
ICE	Toyota	Yaris	1 555,47																
ICE	VW	Polo	1 478,34																
ICE	Dacia	Sandero	1 452,63																
ICE	Ford	Fiesta	1 606,89																
ICE	Chevrolet	C3	1 478,34																
ICE	Mini	One	1 529,76																
ICE	Skoda	Pahia	1 298,37																
ICE	Hyundai	I20	1 452,63																
ICE	Hyundai	I20	1 606,89																
ICE	Seat	Ibiza	1 606,89																
ICE	Audi	A1	1 401,21																
ICE	Suzuki	Swift	1 195,53																
ICE	Nissan	Micra	1 504,05																
ICE	Kia	Rio	1 581,18																
ICE	Fiat	500L	1 375,50																
ICE	Mazda	2	1 452,63																
ICE	Hyundai	Kanai	1 632,60																
HEV	Hyundai	Jazz	1 066,98																
HEV	Hyundai	Kanai HEV	1 401,21																
BEV	Renault	Zoe (41 kWh)	387,81	488,69	253,39	1 047,00	881,88	1 939,05	2 443,44	1 266,96	5 235,00	4 409,40	3 878,10	4 886,88	14 012,10				
BEV	Renault	Zoe (52 kWh)	389,98	491,44	254,78	1 053,00	886,92	1 949,89	2 457,21	1 273,89	5 265,00	4 434,60	3 899,78	4 914,42	2 547,78	10 470,00	8 818,80		
BEV	Honda	e	387,81	488,69	253,39	1 047,00	881,88	1 939,05	2 443,44	1 266,96	5 235,00	4 409,40	3 899,78	4 914,42	2 547,78	10 530,00	8 869,20		
BEV	Honda	e Advance	400,82	505,21	261,71	1 083,00	912,12	2 004,08	2 526,06	1 308,54	5 415,00	4 560,60	4 008,15	5 052,12	2 617,08	10 830,00	9 121,20		
BEV	Hyundai	Kanai (39,2 kWh)	296,78	373,02	195,18	795,00	670,20	1 483,88	1 965,40	975,90	3 975,00	3 351,00	2 967,75	3 730,20	1 951,80	7 930,00	6 702,00		
BEV	Hyundai	Kanai (64 kWh)	303,28	381,28	199,34	813,00	685,32	1 516,39	1 906,61	996,69	4 065,00	3 426,60	3 032,78	3 812,82	1 993,38	8 130,00	6 833,20		
BEV	Pugeot	e-208	308,30	463,90	240,92	993,00	836,52	1 841,31	2 319,51	1 204,59	4 965,00	4 182,60	3 683,03	4 639,02	2 409,18	9 930,00	8 365,20		
BEV	BMW	i3	298,94	375,77	196,57	801,00	675,24	1 494,71	1 878,87	982,83	4 005,00	3 376,20	2 989,43	3 757,74	1 965,66	8 010,00	6 752,40		
BEV	BMW	i3 S	324,95	408,82	213,20	873,00	735,72	1 624,76	2 044,11	1 065,99	4 365,00	3 678,60	3 249,53	4 088,22	2 131,98	8 730,00	7 357,20		
BEV	Corsa	e	376,97	474,92	246,46	1 017,00	856,68	1 884,86	2 374,59	1 232,31	5 085,00	4 283,40	3 769,73	4 749,18	2 464,62	10 170,00	8 566,80		

Tabela A.14: Custos variáveis - Segmento C

Veículo	Distância (km)			Cenário 1 (15000km)			Cenário 2 (75000km)			Cenário 3 (150000km)		
	Marca	Modelo	Tipo de Carregamento	Doméstico Tarifa Simples	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Fora de Vazio)	Público (Rápido)	Doméstico Tarifa Simples	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Fora de Vazio)	Público (Rápido)	Doméstico Tarifa Simples	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Fora de Vazio)	Público (Rápido)
VCI	VW	Golf		1.375,50			6.877,50				13.755,00	
VCI	Skoda	Octavia		989,85			4.949,25				9.898,50	
VCI	Ford	Focus		1.555,47			7.777,35				15.554,70	
VCI	Mercedes	Classe A		1.681,02			8.420,10				16.840,20	
VCI	Toyota	Corolla		1.681,02			8.420,10				16.840,20	
VCI	Seat	Leon		1.478,34			7.391,70				14.783,40	
VCI	BMW	Série 1		1.735,44			8.677,20				17.354,40	
VCI	Audi	A3		1.195,53			5.977,65				11.955,30	
VCI	Peugeot	308		1.478,34			7.391,70				14.783,40	
VCI	Renault	Megane		1.555,47			7.777,35				15.554,70	
VCI	Kia	Ceed		1.581,18			7.905,90				15.811,80	
VCI	Opel	astra		1.478,34			7.391,70				14.783,40	
VCI	Mercedes	GLA		1.606,89			8.034,45				16.068,90	
VCI	Fiat	Typo		1.504,05			7.520,25				15.040,50	
VCI	Skoda	Scala		1.298,37			6.491,85				12.983,70	
VCI	Hyundai	i30		1.452,63			7.263,15				14.526,30	
VCI	BMW	Série2		1.684,02			8.420,10				16.840,20	
VCI	Mazda	3		1.529,76			7.648,80				15.297,60	
VCI	Honda	Chivic		1.606,89			8.034,45				16.068,90	
VCI	Mini	Clubman		1.658,31			8.291,55				16.583,10	
VCI	Alfa Romeo	Giulietta		1.915,41			9.577,05				19.154,10	
VCI	Citroen	C4		1.478,34			7.391,70				14.783,40	
VEH	Suzuki	Swace		989,85			4.949,25				9.898,50	
VEH	Kia	Niro		1.324,08			6.620,40				13.240,80	
VHR	BMW	Série 2 XE		681,33			3.406,65				6.813,30	
VHR	Hyundai	Ioniq		372,81			1.864,05				3.728,10	
VHR	Toyota	Prnux		823,56			4.117,80				8.235,60	
VHR	Kia	Niro		783,17			3.915,87				7.831,74	
VHR	VW	Golf GTE		697,38			3.486,91				6.973,82	
VE	VW	ID.3		340,13			1.700,63				3.401,25	
VE	VW	ID.3 (Pro S)		314,12			1.570,58				3.141,15	
VE	Nissan	Leaf		383,48			1.917,38				3.834,75	
VE	Nissan	Leaf E+		405,15			2.025,75				4.051,50	
VE	Hyundai	Ioniq		264,26			1.321,31				2.642,63	
VE	Kia	e-Niro (39,2 kWh)		359,63			1.798,16				3.596,33	
VE	Kia	e-Niro (64 kWh)		359,63			1.798,16				3.596,33	
VE	Mazda	MX-30		426,83			2.134,13				4.268,25	
VE	VW	ID.4 (52 kWh)		379,14			1.895,70				3.791,40	
VE	VW	ID.4 (77 kWh)		389,98			1.949,89				3.899,78	
VE	Ford	Mustang-e (75,7 kWh)		387,81			1.939,05				3.878,10	
VE	Ford	Mustang-e (98,8 kWh)		469,41			2.347,05				4.694,10	
VE	Ford			372,64			1.863,19				3.726,38	
							1.155,03				2.310,06	
							1.059,78				2.119,56	
							1.113,89				2.227,78	
							771,00				1.542,00	
							710,52				1.421,04	
							871,80				1.743,60	
							922,20				1.844,40	
							1.095,00				2.190,00	
							705,00				1.410,00	
							969,00				1.938,00	
							969,00				1.938,00	
							235,37				470,74	
							278,34				556,68	
							217,85				435,70	
							254,78				509,56	
							253,39				506,78	
							1.047,00				2.094,00	
							1.005,00				2.010,00	
							1.291,23				2.582,46	
							1.175,94				2.351,88	
							1.113,89				2.227,78	
							915,00				1.830,00	
							843,00				1.686,00	
							1.035,00				2.070,00	
							1.095,00				2.190,00	
							264,26				528,52	
							331,71				663,42	
							452,89				905,78	
							452,89				905,78	
							588,26				1.176,52	
							477,67				955,34	
							491,44				982,88	
							488,69				977,38	
							253,39				506,78	
							1.047,00				2.094,00	
							1.005,00				2.010,00	
							1.291,23				2.582,46	
							1.175,94				2.351,88	
							1.113,89				2.227,78	
							915,00				1.830,00	
							843,00				1.686,00	
							1.035,00				2.070,00	
							1.095,00				2.190,00	
							264,26				528,52	
							331,71				663,42	
							452,89				905,78	
							452,89				905,78	
							588,26				1.176,52	
							477,67				955,34	
							491,44				982,88	
							488,69				977,38	
							253,39				506,78	
							1.047,00				2.094,00	
							1.005,00				2.010,00	
							1.291,23				2.582,46	
							1.175,94				2.351,88	
							1.113,89				2.227,78	
							915,00				1.830,00	
							843,00				1.686,00	
							1.035,00				2.070,00	
							1.095,00				2.190,00	
							264,26				528,52	
							331,71				663,42	
							452,89				905,78	
							452,89				905,78	
							588,26				1.176,52	
							477,67				955,34	
							491,44				982,88	
							488,69				977,38	
							253,39				506,78	
							1.047,00				2.094,00	
							1.005,00				2.010,00	
							1.291,23				2.582,46	
							1.175,94				2.351,88	
							1.113,89				2.227,78	
							915,00				1.830,00	
							843,00				1.686,00	
							1.035,00				2.070,00	
							1.095,00				2.190,00	
							264,26				528,52	
							331,71				663,42	
							452,89				905,78	
							452,89				905,78	
							588,26				1.176,52	
							477,67				955,34	
							491,44				982,88	
							488,69				977,38	
							253,39				506,78	
							1.047,00				2.094,00	
							1.005,00				2.010,00	
							1.291,23				2.582,46	
							1.175,94				2.351,88	
							1.113,89				2.227,78	
							915,00				1.830,00	
							843,00				1.686,00	
							1.035,00				2.070,00	
							1.095,00				2.190,00	
							264,26				528,52	
							331,71				663,42	
							452,89				905,78	
							452,89				905,78	
							588,26				1.176,52	
							477,67				955,34	
							491,44				982,88	
							488,69				977,38	
							253,39				506,78	
							1.047,00				2.094,00	
							1.005,00				2.010,00	
							1.291,23				2.582,46	
							1.175,94				2.351,88	
							1.113,89				2.227,78	

Tabela A.15: Custos variáveis - Segmento D

Veículo	Marca	Modelo	Distância (km)						Custo de Variáveis (€)								
			Cenário 1 (15000km)			Cenário 2 (75000km)			Cenário 3 (150000km)								
			Tipo de Carregamento			Tipo de Carregamento			Tipo de Carregamento			Tipo de Carregamento					
	Doméstico Tarifa Simples	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Hora de Vazio)	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Vazio)	Público (Rápido)	Público (Não Rápido)	Doméstico Tarifa Simples	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Hora de Vazio)	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Vazio)	Público (Rápido)	Público (Não Rápido)	Doméstico Tarifa Simples	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Hora de Vazio)	Doméstico Tarifa Bi-Horária (Vazio)	Público (Rápido)	Público (Não Rápido)		
ICE	BMW	Série 3	1 786,86														
ICE	VW	Passat	1 401,21														
ICE	Mercedes	Classe C	1 581,18														
ICE	Audi	A4	1 555,47														
ICE	Skoda	Superb	1 092,69														
ICE	Vauxo	V60	1 786,86														
ICE	Peugeot	508	1 581,18														
ICE	Audi	A5	1 581,18														
ICE	Ford	Mondeo	1 735,44														
ICE	Opel	Insignia	1 375,50														
ICE	BMW	Série 4	1 835,28														
ICE	VW	Arteon	1 730,30														
ICE	Renault	Talisman	1 606,89														
ICE	Alfa Romeo	Giulia	1 941,12														
ICE	Mazda	6	1 813,57														
ICE	Jaguar	XE	1 349,79														
HEV	Toyota	Camry	1 195,53														
BEV	Tesla	Model 3 (S, Range)	253,43	317,94	167,46	675,00	569,40	1 267,13	1 589,70	837,30	3 375,00	2 847,00	2 534,25	3 179,40	1 674,60	6 750,00	5 694,00
BEV	Tesla	Model 3 (L, Range)	301,11	378,53	197,95	807,00	680,28	1 505,55	1 892,64	989,76	4 035,00	3 401,40	3 011,10	3 785,28	1 979,52	8 070,00	6 802,80
BEV	Polestar	2 (64 kWh)	340,13	428,10	222,90	915,00	771,00	1 700,63	2 140,50	1 114,50	4 575,00	3 855,00	3 401,25	3 785,28	2 229,00	9 150,00	7 710,00
BEV	Polestar	2 (78 kWh)	340,13	428,10	222,90	915,00	771,00	1 700,63	2 140,50	1 114,50	4 575,00	3 855,00	3 401,25	4 281,00	2 229,00	9 150,00	7 710,00
BEV	Mercedes	EQC	498,35	629,14	324,08	1 353,00	1 138,92	2 491,76	3 145,71	1 620,39	6 765,00	5 694,60	4 983,53	6 291,42	3 240,78	13 530,00	11 389,20
BEV	Jaguar	I-Pace	513,53	648,42	333,78	1 395,00	1 174,20	2 567,63	3 242,10	1 668,90	6 975,00	5 871,00	5 135,25	6 484,20	3 337,80	13 950,00	11 742,00

Tabela A.16: Custos variáveis - Segmento E

Veículo	Distância (km)		Custo de Variáveis (€)														
			Cenário 1 (15000km)				Cenário 2 (75000km)				Cenário 3 (150000km)						
			Doméstico Tarifa Simples		Doméstico Tarifa Bi-Horária (Fora de Vazio)		Doméstico Tarifa Bi-Horária (Rápido)		Doméstico Tarifa Simples		Doméstico Tarifa Bi-Horária (Fora de Vazio)		Doméstico Tarifa Bi-Horária (Rápido)		Doméstico Tarifa Simples		Doméstico Tarifa Bi-Horária (Fora de Vazio)		Doméstico Tarifa Bi-Horária (Rápido)
ICE	Mercedes	Classe E	407,32	513,47	265,87	1 101,00	927,24	2 036,59	2 567,37	1 329,33	5 505,00	4 636,20	4 073,18	5 134,74	2 658,66	11 010,00	9 272,40
ICE	BMW	Série 5	324,96	408,82	213,20	873,00	735,72	1 624,76	2 044,11	1 065,99	4 365,00	3 678,60	3 249,53	4 088,22	2 131,98	8 730,00	7 357,20
ICE	Audi	A6	550,37	695,24	357,34	1 497,00	1 259,88	2 751,86	3 476,19	1 786,71	7 485,00	6 299,40	5 503,73	6 952,38	3 573,42	14 970,00	12 598,80
ICE	Volvo	V90	350,96	441,87	229,83	945,00	796,20	1 754,81	2 209,35	1 149,15	4 725,00	3 981,00	3 509,63	4 418,70	2 298,30	9 450,00	7 962,00
ICE	Mercedes	CLS	383,48	483,18	250,62	1 035,00	871,80	1 917,38	2 415,90	1 253,10	5 175,00	4 359,00	3 834,75	4 831,80	2 506,20	10 350,00	8 718,00
ICE	Mercedes	CLS	383,48	483,18	250,62	1 035,00	871,80	1 917,38	2 415,90	1 253,10	5 175,00	4 359,00	3 834,75	4 831,80	2 506,20	10 350,00	8 718,00
ICE	Jaguar	XF	383,48	483,18	250,62	1 035,00	871,80	1 917,38	2 415,90	1 253,10	5 175,00	4 359,00	3 834,75	4 831,80	2 506,20	10 350,00	8 718,00
ICE	BMW	Série 6	383,48	483,18	250,62	1 035,00	871,80	1 917,38	2 415,90	1 253,10	5 175,00	4 359,00	3 834,75	4 831,80	2 506,20	10 350,00	8 718,00
ICE	BMW	ES 300h	383,48	483,18	250,62	1 035,00	871,80	1 917,38	2 415,90	1 253,10	5 175,00	4 359,00	3 834,75	4 831,80	2 506,20	10 350,00	8 718,00
HEV	BMW	Lexus	383,48	483,18	250,62	1 035,00	871,80	1 917,38	2 415,90	1 253,10	5 175,00	4 359,00	3 834,75	4 831,80	2 506,20	10 350,00	8 718,00
PHEV	Polestar	I	383,48	483,18	250,62	1 035,00	871,80	1 917,38	2 415,90	1 253,10	5 175,00	4 359,00	3 834,75	4 831,80	2 506,20	10 350,00	8 718,00
BEV	Porsche	Taycan	383,48	483,18	250,62	1 035,00	871,80	1 917,38	2 415,90	1 253,10	5 175,00	4 359,00	3 834,75	4 831,80	2 506,20	10 350,00	8 718,00
BEV	Tesla	Model S	383,48	483,18	250,62	1 035,00	871,80	1 917,38	2 415,90	1 253,10	5 175,00	4 359,00	3 834,75	4 831,80	2 506,20	10 350,00	8 718,00
BEV	Audi	e-Tron	383,48	483,18	250,62	1 035,00	871,80	1 917,38	2 415,90	1 253,10	5 175,00	4 359,00	3 834,75	4 831,80	2 506,20	10 350,00	8 718,00
BEV	Tesla	Model X	383,48	483,18	250,62	1 035,00	871,80	1 917,38	2 415,90	1 253,10	5 175,00	4 359,00	3 834,75	4 831,80	2 506,20	10 350,00	8 718,00
BEV	Volvo	XC40 Recharge	383,48	483,18	250,62	1 035,00	871,80	1 917,38	2 415,90	1 253,10	5 175,00	4 359,00	3 834,75	4 831,80	2 506,20	10 350,00	8 718,00