



**FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

## **Avaliação de Impactes do Veículo Eléctrico**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade Território e Gestão do Ambiente

Autor

**Gil Lemos de Matos**

Orientador

**Professora Doutora Anabela Salgueiro Narciso Ribeiro**

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correcções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

**Coimbra, Janeiro, 2012**

## **AGRADECIMENTOS**

Um agradecimento especial à minha orientadora Professora Doutora Anabela Salgueiro Narciso Ribeiro pela liberdade que me facultou neste trabalho, pela disponibilidade que sempre demonstrou e pelas orientações que me forneceu.

Agradeço a todos os meus familiares, em especial aos meus pais pela ajuda que me deram durante todo o meu percurso académico e aos meus irmãos por me terem aturado. Um agradecimento especial à minha namorada pela ajuda na realização do trabalho. Agradeço também aos meus amigos por todo o apoio directo e indirecto que sempre demonstraram.

Obrigado.

## RESUMO

O crescente aumento do preço dos combustíveis fósseis e o desenvolvimento tecnológico promovem novas formas de propulsão para a locomoção de veículos, sendo a principal, a propulsão eléctrica. Na actual conjuntura, encontramos diferentes tipos de Veículos Eléctricos (VE), sendo que cada tipo tem diferentes impactes. Os impactes provocados pela construção, transporte, utilização e fim de vida de veículos eléctricos, no panorama português, são ainda desconhecidos ou foram pouco aprofundados. Este estudo pretende dar uma noção dos impactes provocados pelo ciclo de vida de três tipos de veículos individuais existentes em Portugal, nomeadamente o veículo eléctrico a bateria (VEB), o veículo eléctrico híbrido (VEH) e o veículo tradicional de combustão interna (VCI). Através de uma comparação entre eles, recorrendo ao método de análise de ciclo de vida (ACV), serão apresentados os impactes com maior relevância para o ambiente. Conclui-se que, de uma maneira geral, o VE provoca menores impactes que os veículos tradicionais se uma boa parte da energia eléctrica produzida para a locomoção tiver proveniência de fontes renováveis. De forma a reduzir os impactes ambientais é preferível a utilização de baterias de lítio nos VE.

## **ABSTRACT**

The increasing price of fossil fuels and technological development promote new forms of propulsion for the movement of vehicles, being the most relevant the electric propulsion. Nowadays we find different types of electric vehicles (VE), and each type has different impacts. The impacts caused by construction, transportation, use and end of life of electric vehicles in the Portuguese scenery are still unknown or has not been studied in detail. This study aims to give an idea of the impacts caused by the life cycle of three different types of individual vehicles in Portugal, namely the electric vehicle battery (VEB), hybrid electric vehicle (VEH) and the traditional internal combustion vehicle (VCI). Through a comparison between them and using the method of life cycle analysis (ACV) we get the results with greater relevance to the environment. It is concluded that in general the VE causes less impact than traditional vehicles, if a large part of the electricity produced for locomotion has his origin from renewable sources. In order to reduce environmental impacts is preferable to use lithium batteries in the VE.

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	ii
ABSTRACT .....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE TABELAS .....	vii
ABREVIATURAS .....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Motivação e Objectivos.....	2
1.3 Estrutura do Trabalho .....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Veículos.....	5
2.3 Baterias .....	7
3. METODOLOGIA.....	9
3.1 Metodologia de ACV .....	9
3.2 Selecção do Software .....	10
3.3 Selecção dos Produtos .....	10
3.4 Definição de Fronteiras e Unidade Funcional.....	13
4. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS .....	16
4.1 Fase de Produção dos Veículos .....	16
4.1.1 Veículos .....	16
4.1.2 Componentes Eléctricos .....	20
4.1.3 Baterias .....	22
4.2 Aquisição e Processamento de Dados na Fase de Utilização e Fim de Vida.....	24
4.2.1 Utilização do VCI e do VEH.....	24
4.2.2 Utilização do VEB.....	25
4.2.3 Fim de Vida .....	27

---

5.	AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....	29
5.1	Categorias de Impacte .....	29
5.2	Impactes Provocados Pelos Veículos .....	31
5.3	Impactes Provocados pelas Baterias.....	40
5.4	Comparação dos Resultados com outros Estudos .....	44
6.	CONCLUSÃO.....	46
6.1	Síntese de Resultados .....	46
6.2	Limitações ao Estudo e Qualidade dos Dados .....	48
6.3	Trabalhos Futuros.....	48
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50
A)	ANEXO A .....	1
B)	ANEXO B .....	3
C)	ANEXO C .....	6
D)	ANEXO D .....	8
E)	ANEXO E.....	10

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Fases, Entradas e Saídas da ACV (European Commission (DG ENV) 2011). ....	9
Figura 3.2 – Esquema do ciclo de vida de um VEB.....	14
Figura 3.3 – Esquema do ciclo de vida de um VEH.....	15
Figura 3.4 – Esquema do ciclo de vida de um VCI.....	15
Figura 5.1 – Valores normalizados por veículo e categoria de impacte.....	32
Figura 5.2 – Significância das fases do ciclo de vida para os impactes da Depleção Abiótica (cenário com 80% de reciclagem). ....	33
Figura 5.3 – Significância das fases do ciclo de vida para os impactes da Acidificação (cenário com 80% de reciclagem). ....	34
Figura 5.4 – Significância das fases do ciclo de vida para os impactes da Eutrofização (cenário com 80% de reciclagem). ....	35
Figura 5.5 – Significância das fases do ciclo de vida para os impactes do Aquecimento Global (cenário com 80% de reciclagem). ....	36
Figura 5.6 – Significância das fases do ciclo de vida para os impactes da Depleção da Camada de Ozono (cenário com 80% de reciclagem). ....	37
Figura 5.7 – Significância das fases do ciclo de vida para os impactes da Oxidação Fotoquímica (cenário com 80% de reciclagem). ....	38
Figura 5.8 – Impactes provocados pelas baterias sobre a Depleção Abiótica. ....	41
Figura 5.9 – Impactes provocados pelas baterias LiFePO <sub>4</sub> sobre a Depleção Abiótica. ....	41
Figura 5.10 – Impactes provocados pelas baterias LiFePO <sub>4</sub> sobre a Acidificação. ....	42
Figura 5.11 – Impactes provocados pelas baterias LiFePO <sub>4</sub> sobre o Aquecimento Global. ....	43
Figura B.1 – Esquema de um VEH (europe.epid.fr). ....	3
Figura B.2 – Esquema de um VPEH (europe.epid.fr). ....	4
Figura B.3 – Esquema de um VEB (europe.epid.fr). ....	5
Figura C.1 – Processo de carga (Ozan Toprakci et al. 2010). ....	6
Figura C.2 – Processo de descarga (Ozan Toprakci et al. 2010). ....	7
Figura C.3 – Bateria cilíndrica (Gaines L. et al. 2000). ....	7
Figura E.1 – Processo de produção do VEB ( <i>SimaPro</i> ). ....	11
Figura E.2 – Escolha do método ( <i>SimaPro</i> ). ....	12
Figura E.3 – Resultados da Análise ( <i>SimaPro</i> ). ....	12

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Características dos veículos.....	12
Tabela 4.1 – Massa dos diferentes modelos em estudo e das suas baterias. ....	16
Tabela 4.2 – Materiais e percentagens de cada material constituinte dos modelos em estudo. ....	17
Tabela 4.3 – Processos, massas e percentagens do VEB utilizados na ACV.....	18
Tabela 4.4 – Processos, massas e percentagens do VEB utilizados na ACV (continuação)... ..	19
Tabela 4.5 – Processos utilizados na ACV na produção de 1kg de componentes eléctricos. ...	21
Tabela 4.6 – Processos utilizados na ACV para a produção de 1kg de LiFePO <sub>4</sub> .....	23
Tabela 4.7 – Fontes e respectiva produção de energia eléctrica em Portugal no ano de 2010 (Dados técnicos REN 2010). ....	25
Tabela 4.8 – Fontes e respectiva produção de energia eléctrica em Portugal no ano de 2009 (Dados Técnicos REN 2009).....	26
Tabela 4.9 – Taxas de reciclagem dos materiais constituintes dos veículos (SEI 2007). ....	28
Tabela 5.1 – Categorias de impacto do método CML 2 e respectivas unidades. ....	29
Tabela 5.2 – Resultados da análise de incerteza com um intervalo de confiança de 95%. ....	30
Tabela 5.3 – Resumo dos impactes provocados por cada tipo de veículo.....	32
Tabela 5.4 – Resumo dos impactes provocados por cada tipo de veículo com fim de vida. ...	39
Tabela 5.5 – Resumo dos impactes provocados na categoria Depleção Abiótica (kg Sbeq) por fase do ciclo de vida. ....	39
Tabela 5.6 – Comparação dos resultados com outros estudos para a categoria Aquecimento Global. ....	44
Tabela 5.7 – Comparação dos resultados com outros estudos para a categoria Aquecimento Global (continuação). ....	45
Tabela A.1 – Processos, massas e percentagens do VCI e do VEH utilizados na ACV. ....	1
Tabela A.2 – Processos, massas e percentagens do VCI e do VEH utilizados na ACV (continuação). ....	2
Tabela D.1 – Tradução dos processos. ....	8
Tabela D.2 – Tradução dos processos (continuação). ....	9

## ABREVIATURAS

ACV – Análise de Ciclo de Vida.

SEI – Sustainable Energy of Ireland.

VCI – Veículo de Combustão Interna.

VE – Veículo(s) Eléctrico(s).

VE 2009 – Veículo Eléctrico a Bateria que na fase de utilização consome energia proveniente do *mix* energético Português de 2009.

VE 2010 – Veículo Eléctrico a Bateria que na fase de utilização consome energia proveniente do *mix* energético Português de 2010.

VEB – Veículo Eléctrico a Bateria.

VEH – Veículo Eléctrico Híbrido.

VPEH – Veículo Plug-in Eléctrico Híbrido.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

Com o crescente aumento do preço dos combustíveis fósseis, grande parte da indústria automóvel mundial encontra-se a investir fortemente em novas formas de propulsão, sendo a principal, a propulsão eléctrica, introduzindo no mercado os Veículos Eléctricos (VE).

Embora o veículo eléctrico tenha surgido na primeira metade do século XIX com o aparecimento da indústria automóvel, só agora voltou a ser considerado como solução para a mobilidade devido a diversos factores. Um desses factores foi a procura ter ultrapassado a descoberta de novas reservas de petróleo, o que consequentemente levou a um aumento do preço dos combustíveis. Esse aumento provoca um sentimento de necessidade de independência do petróleo, especialmente no sector dos transportes favorecendo, o VE, criando uma expectativa dos consumidores, especialmente os consumidores mais jovens, de novos veículos de transporte pessoal completamente diferente dos tradicionais. Actualmente existe algum receio, mesmo por parte das companhias de petróleo, que a procura deste cresça de tal forma que faça com que o preço ultrapasse limites que as economias não possam suportar, provocando problemas mesmo para as companhias petrolíferas. Esta é mais uma razão para a necessidade do VE, que a curto prazo, não vem substituir completamente os veículos dependentes do petróleo, mas vem acalmar a procura destes, sendo dessa forma bem-vindo mesmo pelas companhias petrolíferas. Para além de que é espectável que nos próximos 10 anos apenas 10% dos veículos sejam eléctricos, deixando os restantes 90% a consumir petróleo. Dessa forma continua a existir crescimento, mas de uma forma mais equilibrada, tanto a nível económico como ambiental. Outro factor muito importante é a maioria dos países desenvolvidos e as economias emergentes, como a China e Índia, serem importadores de petróleo e como tal são dependentes do fornecimento de energia proporcionado por outros países. Por essa razão existe um grande incentivo para encontrar soluções para evoluir no sentido em que esta dependência de petróleo não se agrave e dado que o sector dos transportes é um dos maiores, se não o maior, consumidor de petróleo, o VE será uma solução muito apreciada por estes países. O aparecimento destes veículos apenas é possível devido ao desenvolvimento da tecnologia, principalmente a nível das baterias, permitindo uma maior autonomia, um menor tempo de carga e um maior número de ciclos das baterias, que se traduz num maior tempo de vida das baterias. A tecnologia de baterias mais promissora são as baterias constituídas por iões de lítio, que neste momento se encontra numa etapa de evolução bastante razoável, mas é esperado um grande desenvolvimento nesta área para os próximos 5 a 10 anos, pois este desenvolvimento está a ser fomentado pela necessidade. Outro factor encontra-se relacionado com a imagem do sector automóvel, onde o VE tem a possibilidade

de conciliar o desafio do século XXI (desenvolvimento sustentável) com a indústria automóvel.

Uma das áreas que sofrerá maiores alterações no século XXI será a produção de energia. A humanidade necessita cada vez mais de energia e ao mesmo tempo necessita que a produção desta energia esteja em harmonia com o ambiente. Estas necessidades vão proporcionar o desenvolvimento de todas as formas de produção de energia renovável e obrigar a utilizar a energia de uma forma mais inteligente. Por exemplo armazená-la, pois existem enormes perdas de energia visto que a única forma que existe actualmente para a armazenar é através da bombagem de água para montante em algumas barragens hidroeléctricas portuguesas. Com a produção em massa dos VE espera-se que passe a existir uma forma eficiente de armazenar a grande parte da energia desperdiçada através das baterias destes. É por essa razão que o desenvolvimento da bateria é essencial para a estratégia energética do presente século. Obviamente que o processo de introdução dos VE no mercado terá uma enorme resistência e será feito de forma gradual, mas como em todas as mudanças, a resistência dos cépticos é um acontecimento normal.

Na actual conjuntura encontramos diferentes tipos de Veículos Eléctricos, sendo os mais comuns os Veículos Eléctricos Híbridos (VEH), os Veículos Plug-in Eléctricos Híbridos (VPEH) e os Veículos Eléctricos a Bateria (VEB). No anexo B encontramos uma descrição dos diferentes tipos de VE. O desenvolvimento da tecnologia das baterias não será apenas para o VE, mas também para o VEH, VPEH, etc. Os sistemas de carga dos veículos ou troca de bateria são sistemas que têm sido definidos por cada país, pois há governantes que consideram a troca de baterias essencial enquanto outros dão preferência ao carregamento rápido. Os veículos no mercado têm-se adaptado a cada país e ao método de carga utilizado. No caso de Portugal o sistema utilizado é o de carga rápida para situações de viagem e carga lenta para as deslocações dentro da cidade. Outra vantagem dos VE é o preço da electricidade utilizada que poderá ser bastante baixa visto o VE poder ser recarregado fora das horas do pico do consumo, quando o preço da energia é menor.

Em função deste enquadramento, será oportuno estudar os VE e os impactes que eles provocam, de forma a obter um conhecimento sobre os possíveis problemas que estes possam trazer, ou vir a evitar.

## **1.2 Motivação e Objectivos**

Cada tipo de VE tem impactes diferentes entre si e entre qualquer outro tipo de veículo, sendo que grande parte desses impactes são ainda desconhecidos ou o seu estudo não foi ainda suficientemente aprofundado, principalmente no que respeita aos impactes provocados pelas baterias utilizadas nos VE.

Com todos os indicadores a apontar para uma transição da frota de veículos automóveis, do veículo tradicional para o VE, é urgente obter um conhecimento aprofundado sobre os impactes que esta nova forma de locomoção possa trazer para podermos comparar os impactes que as diferentes formas de locomoção provocam. Embora já existam alguns estudos onde se encontra uma comparação entre diferentes tipos de locomoção, nenhum deles contempla as três formas de locomoção com a respectiva tecnologia de bateria utilizada que existe actualmente no mercado português. Para além de que nenhum dos estudos utiliza os dados mais recentes das fontes de produção de energia eléctrica portuguesa.

Este trabalho tem como objectivo uma análise comparativa de três tipos de veículos com diferentes sistemas de propulsão, que existem actualmente no mercado português. Será então estudado um veículo de combustão interna (VCI), um veículo eléctrico híbrido (VEH) e um veículo eléctrico a bateria (VEB). Esta comparação será realizada através de uma análise de ciclo de vida (ACV), onde irão ser comparados os impactes ambientais provocados pelo ciclo de vida dos veículos em estudo utilizando o método CML 2 que apresenta as principais categorias de impacte.

Para o VEB, que consome energia eléctrica, serão utilizados dois cenários de produção de energia em Portugal, o *mix* de produção de energia eléctrica de 2009 e o de 2010, que contempla todas as formas de produção de energia eléctrica em Portugal, desde as centrais de carvão, barragens hidroeléctricas, eólicas, entre outras. Tanto para o VEH como para o VCI será considerado o consumo de gasolina.

As baterias utilizadas nos veículos eléctricos serão de diferentes tecnologias. No caso do VEB encontramos baterias de lítio com a tecnologia  $\text{LiFePO}_4$ , que significa que o cátodo da bateria ou pólo positivo é constituído por  $\text{LiFePO}_4$ , já o VEH tem baterias de Níquel com a tecnologia NiMH, ou seja, o cátodo é constituídos por NiMH. Para as baterias do VEB serão estudados diferentes cenários de fim de vida com taxas de reciclagem diferentes.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

O trabalho está dividido em sete capítulos. O primeiro engloba o enquadramento, motivação e objectivos do trabalho. No segundo capítulo encontramos uma revisão bibliográfica contendo os artigos mais relevantes para este trabalho sendo apresentados estudos de veículos com diferentes tipos de propulsão e estudos sobre baterias utilizadas em VE. O terceiro capítulo é dedicado à apresentação da metodologia utilizada, à selecção do software e produtos utilizados e à definição de parâmetros para a aplicação do método. No quarto capítulo encontramos a aquisição e o processamento dos dados para todas as fases da ACV. Os resultados são apresentados no quinto capítulo, dividido numa apresentação dos tipos de impactes analisados, nos impactes provocados pelos veículos e nos impactes provocados pelas

baterias. No sexto capítulo apresentam-se as conclusões do estudo realizado neste trabalho e no último as referências bibliográficas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Introdução

Este capítulo tem o objectivo de dar a conhecer os estudos existentes sobre o tema abordado neste trabalho. Serão apresentados sumariamente os estudos sobre os veículos dos diferentes tipos de propulsão e estudos sobre as baterias abordadas neste trabalho. A grande maioria dos estudos existentes sobre a ACV de veículos eléctricos foca-se principalmente na produção do veículo, respectivas baterias e na fase de utilização. De um modo geral a mobilidade eléctrica é considerada benéfica comparativamente à utilização do veículo de combustão interna.

### 2.2 Veículos

Robert Anderson, considerado o inventor do VE, terá criado esta tecnologia entre 1832 e 1839. A tecnologia das baterias foi estudada, no que respeita à sua capacidade de armazenamento, para a utilização em VE, por Gaston Plante, em 1865 e Camille Faure, em 1881. Camille Jenatzy ultrapassou a barreira dos 100 km/h num VEB no ano 1899. Em 1930, com o aparecimento do VCI, os VE desapareceram devido às limitações tecnológicas da época. Em 1947, foi inventado o transístor que impulsionou a tecnologia do VE, mas a construção destes veículos era mais dispendiosa comparada ao VCI, por isso, no início do século XXI, existiam poucos VE a circular. Actualmente, com o desenvolvimento da tecnologia da bateria e com o valor das despesas do VCI a subir devido ao aumento dos preços dos combustíveis fósseis, assistimos a um rápido retorno do VE no mercado automóvel.

Em 2002, o instituto Electric Power Research Institute desenvolveu um projecto intitulado “Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options for Compact Sedan and Sport Utility Vehicles”, coordenado por M. Duvall, onde foi estudada a eficiência energética, as emissões, os custos económicos e as preferências do consumidor de três tipos de veículos híbridos, comparando com veículos tradicionais. Concluíram que os VEH podem oferecer uma maior eficiência traduzida através de uma redução substancial no consumo de combustível e da redução de emissões atmosféricas (NO<sub>x</sub>, HC e CO<sub>2</sub>). Concluíram que quanto maior for a capacidade do VEH para percorrer os trajectos em modo eléctrico maiores são as reduções do consumo e das emissões. Concluíram ainda que o VEH no caso mais extremo pode reduzir em 55% a formação de *smog* (ver capítulo 5.1), 60% as emissões de CO<sub>2</sub> e reduzir em 85% o consumo de petróleo comparado com um VCI da mesma categoria.

Pedro Augusto Marques, em 2010, fez uma avaliação do ciclo de vida no contexto da dissertação comparando energética e ambientalmente um veículo tradicional com dois tipos

de VPEH e um VEB. Esta comparação foi analisada tanto num ambiente urbano como num semi-urbano. Conclui que em termos energéticos o veículo tradicional é o que consome mais recursos de origem fóssil e que ambientalmente os impactes mais desfavoráveis provocados pelo VEB e pelo VPEH são a Depleção Abiótica e a Acidificação. Já o veículo tradicional provoca maiores impactes sobre o Aquecimento Global, mas caso as fontes de energia utilizadas nos VE na fase de produção sejam provenientes de fontes de energia renovável, os VE de uma forma geral passam a apresentar um desempenho energético e ambiental mais favorável.

Ainda no ano de 2010 Fabienne Habermacher, para a obtenção do grau de Mestre, realizou um trabalho intitulado “Modeling Material Inventories and Environmental Impacts of Electric Passenger Cars”, onde fez comparações entre diferentes tipos de veículos e gamas de veículos utilizando a ferramenta ACV. Concluiu que de uma forma geral os VE são benéficos em termos da mitigação dos impactes a nível das alterações climáticas, mas que causam maiores impactes sobre a saúde humana e ecossistemas comparado com o VCI. Caso os componentes dos VE forem sujeitos à reciclagem os impactes sobre a saúde humana e ecossistemas podem ser reduzidos significativamente.

Em 2010 Dominic A. Notter et al. realizou um estudo sobre a contribuição das baterias de lítio de VE nos impactes sobre o ambiente. O seu estudo teve por base a análise comparativa de dois veículos utilizando o método de ACV, comparando um VCI com um VE. Nesse estudo considerou que a base de ambos os veículos seria a mesma e apenas adicionava a essa base o sistema de propulsão de combustão interna no caso do VCI. No caso do VE adicionava à base o sistema de propulsão eléctrica mais um conjunto de baterias. Concluíram que os impactes das baterias dos VE sobre o ambiente são relativamente pequenos, ao contrário da fase de utilização dos VE que continua a ser a fase que provoca maiores impactes caso sejam utilizadas fontes de energia não renovável.

Sandy Thomas, em 2011 realizou um estudo intitulado “How green are electric vehicles?”, onde afirma que os gases de efeitos de estufa podem ser reduzidos, dependendo do número de veículos tradicionais que sejam trocados por VE e dependendo das fontes de energia eléctrica que é utilizada para carregar as baterias dos VE. Conclui que mesmo que todos os veículos automóveis, dos Estados Unidos da América, fossem substituídos por diferentes tipos de VE, a emissão dos gases de efeito de estufa, seria reduzida em 25% e o consumo de petróleo seria reduzido em 67%. Conclui ainda que, se os mesmos veículos fossem substituídos por VE com célula de hidrogénio, com todo o hidrogénio proveniente do gás natural, a redução seria de 44% das emissões de gases de efeitos de estufa e quase 100% no consumo de petróleo.

Um estudo promovido pela SEI (Sustainable Energy of Ireland) em 2007, denominado “Hybrid Electric and Battery Electric Vehicles”, sobre os custos e os benefícios dos VE na Irlanda, utilizando a ferramenta de ACV, concluiu que uma redução substancial das emissões de CO<sub>2</sub> pode ser conseguido através da conversão de autocarros de tamanho médio e grande em VE. Concluíram ainda que se 10% da frota de veículos existentes na Irlanda fosse convertida a VE os maiores benefícios em termos de emissões de CO<sub>2</sub> seria a conversão de veículos a gasolina para VEB e que a segunda conversão com maiores benefícios seria trocar o veículo a gasolina por um veículo a gasóleo. No caso da conversão tendo em conta o rácio custos por benefícios em termos de CO<sub>2</sub>, seria a conversão de carrinhas a gasolina por carrinhas híbridas.

No ano de 2010, John Brady e Margaret O’Mahony estudaram a potencial redução de emissões de poluentes devido à introdução no mercado de veículos eléctricos na cidade de Dublin. Concluem que os VE's oferecem uma redução significativa nas emissões de poluentes, mas que, na próxima década, não terão grande significado devido à lenta introdução no mercado.

Recentemente, em 2011, Jianhui Wang utilizou um novo modelo capaz de simular as interacções entre VPEH, energia eólica, e resposta ao consumo energético. Os resultados da simulação indicam que cargas controladas dependendo de quando, quanto e duração de carga, dispersando o pico máximo de carga, aliado a um programa de resposta ao consumo, resulta numa redução significativa dos custos de operação.

Um estudo sobre a viabilidade de um sistema “vehicle-to-grid” (V2G) realizado por Kristien Clement-Nyns et al., em 2010, utilizando VPEH concluiu que carregamentos de VPEH descoordenados provocam problemas na rede de distribuição local, mas caso contrário existe a possibilidade de carregar um maior número de VPEH sem ser necessário melhorias na rede de distribuição devido à maior eficiência entre a produção e o consumo.

### **2.3 Baterias**

Em 2010 Mats Zackrisson et. al. realizaram um estudo para determinar de que forma a Análise de Ciclo de Vida (ACV) pode ser utilizada para otimizar o desenho de baterias de lítio para VE. Utilizando diferentes marcas de baterias da mesma tecnologia e utilizando diferentes solventes, concluiu que em todas as categorias estudadas, os impactes na fase de utilização e de produção são semelhantes, caso o *mix* energético seja muito dependente do carvão. Concluiu ainda que os maiores impactes na fase de utilização devem-se ao consumo de energia eléctrica e que os impactes sobre o aquecimento global devido à eficiência interna da bateria são três vezes maiores do que as perdas provocadas pelo facto do veículo ter de

transportar o peso das baterias, logo sobre uma perspectiva ambiental a eficiência da bateria é mais relevante que a sua massa.

No ano de 2003, Jason Bloking realizou um estudo intitulado “Doped LiFePO<sub>4</sub> Cathodes for High Power Density Lithium Ion Batteries”, motivado pela grande densidade energética, segurança e baixo custos de produção da aplicação do cátodo LiFePO<sub>4</sub> em baterias. Estudou a razão pela qual este cátodo tinha uma condutividade baixa para uma aplicação comercial de baterias. Desenvolveu um processo que melhorou a performance electroquímica e concluiu que, a correntes elevadas, as células das baterias superavam as características de baterias comerciais da época. Concluiu ainda que este tipo de baterias seria indicado para a utilização em VE.

Jo Dewulf et al., em 2010, realizaram um estudo denominado “Recycling rechargeable lithium ion batteries: Critical analysis of natural resource savings” em que o objectivo era um estudo sobre a diminuição do consumo de recursos quando o tratamento no fim de vida das baterias de lítio é a reciclagem. Baseado na ISO 14040, que descreve os princípios e o enquadramento da AVC, concluiu que o processo de reciclagem global tem uma eficiência de 40,7%, os processos de transformação de baterias usadas em novas baterias são menos eficientes que os processos de transformação de matéria-prima em baterias novas. Concluiu ainda que a utilização de matéria-prima tem maiores impactes a nível ambiental principalmente devido à necessidade de transporte dos materiais. A reciclagem reduz para metade a necessidade de recursos naturais, embora este processo não seja auto-suficiente devido à incapacidade de reciclar alguns componentes de maneira a estes poderem ser reutilizados em baterias novas.

No mesmo ano de 2010, Scott B. Peterson et al. realizaram um estudo sobre a esperança média de vida de baterias de lítio utilizadas nos VE que utilizavam o sistema de gestão de energia V2G. O estudo levou-os a concluir que a razão principal da degradação das baterias de lítio não é causado pela profundidade da descarga, ou velocidade de descarga nem ao número de acelerações (descarga) e de travagens regenerativas (carregamento) como se previa. As análises realizadas mostram que a principal razão da degradação da bateria e consequente perda de capacidade é devida à quantidade de energia processada. Os autores previram que células descarregadas até a uma profundidade de 95% por ciclo têm 80% da sua capacidade inicial após 5300 ciclos, em vez dos 1500 ciclos anunciados pela marca das baterias testadas. Análises estatísticas mostram que a utilização de uma bateria de um VE apenas em V2G provoca aproximadamente metade da perda da capacidade em comparação com uma utilização com ciclos mais rápidos de carga/descarga tipicamente encontrados durante a condução. Determinaram ainda que modelos de V2G que sejam mais intermitentes tendem a degradar mais rapidamente a bateria.

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo será abordada a metodologia utilizada neste trabalho, as considerações assumidas e de que forma será aplicada no caso de estudo abordado. O capítulo está dividido em quatro subcapítulos onde no primeiro se encontra uma explicação do método de ACV utilizado no trabalho, que consiste num estudo durante a fase de produção utilização e fim de vida dos produtos ou serviços a serem analisados. No segundo subcapítulo encontramos uma breve descrição do software escolhido para a realização deste trabalho, no terceiro são apresentados os produtos a serem estudados, que consiste em três veículos, cada um representante de um tipo de motorização. No último subcapítulo são definidas as fronteiras e a unidade funcional utilizadas no método.

#### 3.1 Metodologia de ACV

Para o estudo dos impactes provocados pelos veículos eléctricos será utilizada uma ferramenta conhecida como Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que tem como objectivo avaliar os impactes ambientais quantificáveis de um serviço ou produto desde a extracção dos materiais necessários, até ao tratamento destes materiais na fase final de vida (Figura 3.1). Quando todos os fluxos para dentro e fora do sistema são identificados, os impactes sobre o ambiente provocados pelo produto em estudo poderão ser calculados.

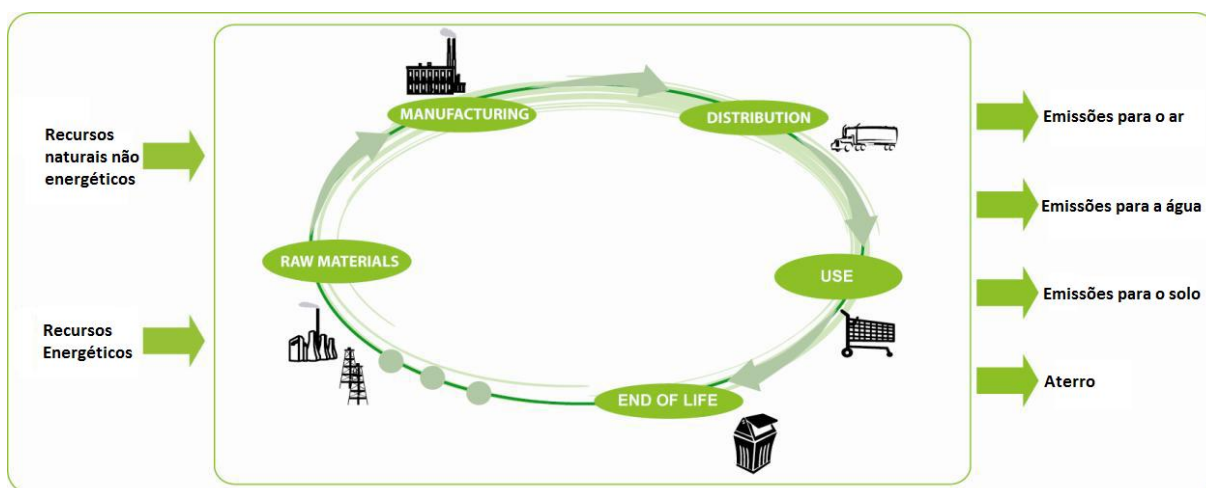


Figura 3.1 – Fases, Entradas e Saídas da ACV (European Commission (DG ENV) 2011).

Esta abordagem, também conhecida como “do berço ao túmulo”, encontra-se padronizada a nível internacional através da ISO 14040 e ISO 14044, consistindo num estudo do consumo de recursos naturais, consumo de energia e emissões para o ambiente de cada processo.

Através da construção de um inventário das entradas e saídas mais relevantes no sistema do produto em estudo, da avaliação dos impactes provocados por essas entradas e saídas, e da interpretação dos resultados da análise do inventário e seus impactes, a ferramenta ACV consegue identificar possibilidades de melhoria dos aspectos ambientais em diversas fases do ciclo de vida do produto, proporcionar apoio à decisão em diversos sectores, seleccionar indicadores relevantes da performance ambiental e indicar as técnicas de medição indicadas.

Os impactes normalmente avaliados pela ACV são o aquecimento global, degradação dos ecossistemas, impactes sobre a saúde humana e esgotamento de recursos.

A ACV permite ainda a comparação dos impactes provocados por diferentes cenários, diferentes tipos de impacte e entre diferentes produtos ou serviços, o que a torna ideal para a realização deste trabalho.

O processo de ACV é organizado seguindo diversas etapas. A primeira consiste na definição dos objectivos e âmbito do trabalho, onde se define a unidade funcional e as fronteiras do sistema. Em seguida faz-se uma análise de inventário dos produtos em estudo terminando com a análise dos impactes e sua interpretação.

### **3.2 Selecção do Software**

De forma a realizar o estudo de ACV existem diversos softwares disponíveis que facilitam o cálculo dos impactes provocados pelos produtos que pretendemos estudar. O software seleccionado para este trabalho foi o *SimaPro*. Este programa foi desenvolvido pela empresa “Pré Consultants” e permite ao utilizador usar dados existentes em diversas bases de dados ou construir processos e introduzir dados, sendo dessa forma possível realizar todo o processo da ACV neste software. Na fase de análise de resultados é possível calcular todas as etapas e obter tabelas e gráficos detalhados através de diferentes metodologias de cálculo de impactes disponíveis com o programa. O *SimaPro* permite ainda exportar os resultados para folhas de cálculo.

### **3.3 Selecção dos Produtos**

Neste trabalho serão estudados diferentes tipos de veículos para transporte individual, que se podem encontrar actualmente no mercado português. Como referido anteriormente, existem diversos tipos de propulsão aplicados nos veículos, sendo que em Portugal existe o VCI onde se engloba a motorização a gasolina, gasóleo e a gás de petróleo liquefeito, o VEH com um motor a gasolina e outro eléctrico e o VEB com motor eléctrico.

Foi decidido identificar três veículos existentes no mercado, representantes de cada tipo de propulsão de forma a poderem ser comparados. Com a intenção de obter resultados com um maior significado foram escolhidos veículos do mesmo segmento, sendo eles o Volkswagen Golf 4 que representa o VCI, o Toyota Prius que representa o VEH e o Nissan Leaf que representa o VEB. O Volkswagen Golf foi escolhido devido à facilidade de aquisição de dados e nível de equipamento semelhante aos outros veículos do estudo. A escolha do Toyota Prius deve-se ao facto de ser o veículo com este tipo de propulsão com uma maior difusão e um maior reconhecimento a nível mundial, o que facilita a aquisição de dados e o Nissan Leaf, pois é o único VEB deste segmento existente no mercado português até à data. De forma a proporcionar uma ideia do tipo de veículos a serem estudados na, tabela 3.1 encontra-se um resumo das características gerais dos veículos que são fornecidos pelos fabricantes.

Tabela 3.1 – Características dos veículos.

<b>Modelo</b>	<b>Golf</b>	<b>Leaf</b>	<b>Prius</b>
<b>País de Produção</b>	Alemanha	Japão	Japão
<b>Tipo de Motor</b>	4 em linha. Injecção Electrónica de Combustível	Eléctrico	4 em linha. Injecção Electrónica de Combustível + Eléctrico
<b>Cilindrada (cc)</b>	1781	-	1798
<b>Potência (cv/rpm)</b>	122 / 5.000	109	99/5200 + 80
<b>Velocidade Max. (km/h)</b>	200	140	180
<b>Binário Máx. (Nm / rpm)</b>	200 / 1.500 - 4.000	280	142/4000 + 207
<b>Consumo</b>	6,2 l / 100 km	14 kWh/ 100km	4 l / 100 km
<b>Tempo de Carga</b>	10 min	Lento:8h Rápido:30min	10 min
<b>Autonomia</b>	mais de 300 km	175 km	mais de 300 km
<b>Tecnologia da Bateria</b>	-	LiFePO4	Hidretos metálicos de níquel
<b>Rodas motrizes</b>	Frente	Frente	Frente
<b>Travões Frente/Trás</b>	Disco/Disco	Disco + travagem regenerativa/Disco	Disco + travagem regenerativa/Disco
<b>Nº de lugares</b>	5	5	5
<b>Comprimento (cm)</b>	419,9	444,5	446
<b>Largura (cm)</b>	178,6	177	174,5
<b>Altura (cm)</b>	151,2	155	149
<b>Peso (kg)</b>	1286	1521	1495

Devido aos VE terem entrado no mercado recentemente, especialmente o VEB, é possível notar na tabela 3.1 uma grande diferença entre as tecnologias, pois a tecnologia dos VE não teve o mesmo tipo de desenvolvimento que a tecnologia dos VCI. Embora os veículos sejam muito semelhantes em termos de dimensões, número de lugares, etc, nota-se que a relação potência/performance em termos de velocidade máxima fica aquém nos motores eléctricos, quando comparados com os motores a gasolina, mas a grande diferença encontra-se na autonomia e no tempo de carga, fazendo com que o VEB não seja prático fora das cidades. Em termos de binário verifica-se o contrário, para além dos motores eléctricos que têm o binário máximo disponível em qualquer rotação o rácio potência/binário favorece os motores eléctricos comparando com os motores a gasolina.

### 3.4 Definição de Fronteiras e Unidade Funcional

Para a realização de um estudo de ACV é necessário definir as fronteiras do sistema, de modo a identificar e calcular os fluxos de massa e energia à entrada e à saída do sistema. As fronteiras do sistema representam a separação entre o sistema e o ambiente que o envolve. (Pedro Marques 2010)

De forma a podermos comparar os diferentes tipos de veículos foi definida uma unidade funcional de 200000 km, que corresponde aproximadamente à vida útil dos veículos. Dado que os VE estão no mercado há pouco tempo, não existem dados suficientes para definir uma média de vida útil para estes veículos. Por esta razão foi utilizada a vida útil dos VCI, embora, seja de prever que, estes veículos tenham uma vida útil superior visto existir uma menor quantidade de partes móveis e de as temperaturas de funcionamento não terem uma amplitude tão grande como as dos VCI.

O ciclo de vida dos VE foi separado em 6 fases. A produção da bateria que engloba a produção das células e a produção da embalagem que vai formar o conjunto de baterias, a produção dos componentes eléctricos que consiste na produção do motor eléctrico, caixa de velocidades, controlador, carregador, cablagem e sistema de arrefecimento. A terceira fase consiste na produção do veículo onde se produzem todos os outros componentes necessários para o funcionamento de um veículo, seguida da fase de utilização que consiste no consumo de energia eléctrica e respectiva manutenção. A quinta fase consiste no fim de vida da bateria onde a bateria é reciclada. A última fase consiste no fim de vida do veículo onde ocorre a reciclagem dos materiais recicláveis, a deposição em aterro ou a incineração. Na Figura 3.2 encontra-se esquematizada as fases de ciclo de vida do VE, na Figura 3.3 as fases de ciclo de vida do VEH, ambas com a respectiva fronteira da ACV.

O ciclo de vida do VCI foi separado em 3 fases. A fase de produção do veículo que consiste na produção de todos os componentes constituintes do veículo, a fase de utilização que

consiste no consumo de gasolina e na manutenção e a última fase, que consiste no fim de vida onde os constituintes do veículo são sujeitos à reciclagem, incineração ou deposição em aterro. Na Figura 3.4 encontra-se esquematizada as fases de ciclo de vida do VCI e a respectiva fronteira da ACV.

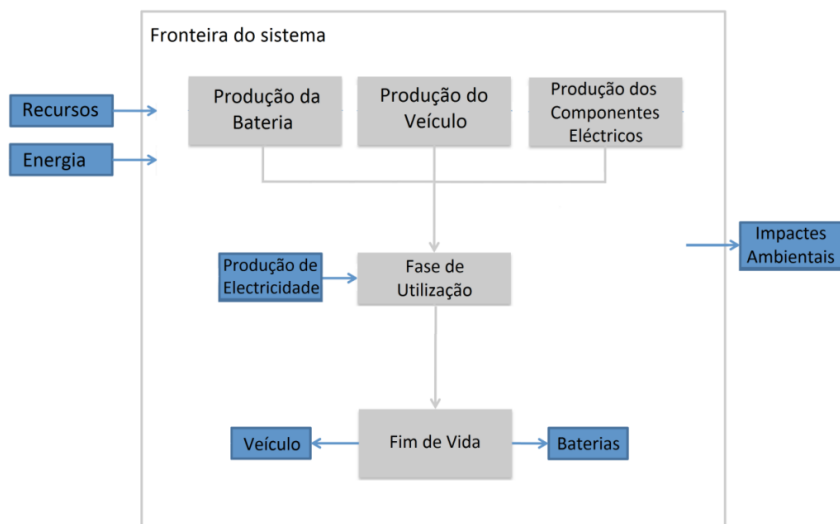


Figura 3.2 – Esquema do ciclo de vida de um VEB.

Da Figura 3.2 pode-se observar que na fase de utilização o VEB apenas utiliza energia eléctrica como fonte de energia, ao contrário do VEH (Figura 3.3) e VCI (Figura 3.4) que apenas utilizam combustível fóssil como fonte de energia. Em todas as fases, tanto de produção, como de utilização e fim de vida, existem impactes sobre o exterior da fronteira que poderão ser positivos ou negativos.

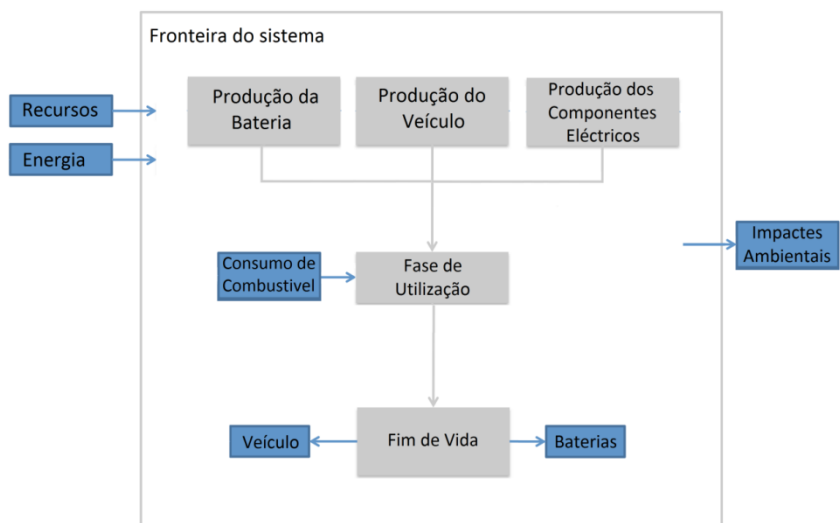


Figura 3.3 – Esquema do ciclo de vida de um VEH.

Facilmente se percebe as diferenças entre as figuras anteriores e a figura 3.4 que representa o VCI, visto que na fase de produção não existe a produção das baterias nem dos componentes eléctricos e na fase de fim de vida não existe as baterias, pois o VCI utiliza como fonte e armazenamento de energia o combustível fóssil ao contrário do VEB que apenas utiliza baterias como fonte de armazenamento e o VEH que utiliza os dois sistemas.

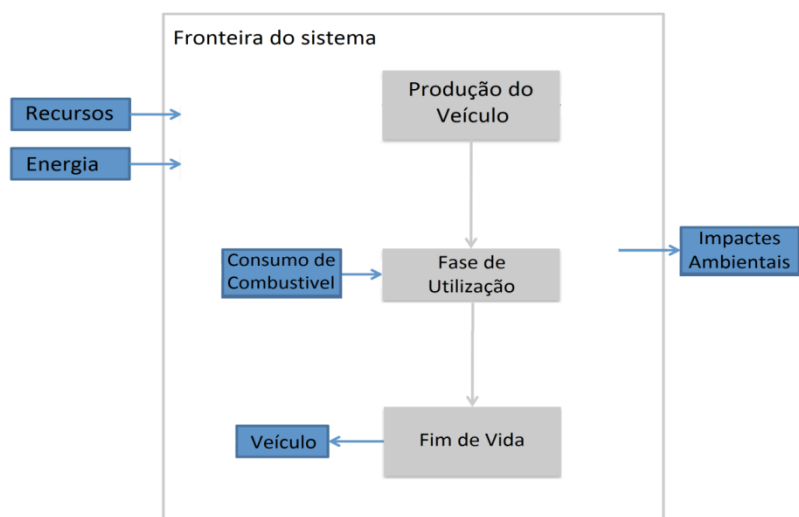


Figura 3.4 – Esquema do ciclo de vida de um VCI.

## 4. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

Neste capítulo são apresentados os dados recolhidos de pesquisas bibliográficas e é apresentada a forma de como esses dados foram tratados de modo a obtermos os valores pretendidos para a realização da ACV. O capítulo está dividido nas várias fases do ciclo de vida dos veículos em que a fase de produção engloba a produção dos veículos, produção dos componentes eléctricos e a produção das baterias. Na fase de utilização e fim de vida é apresentada a utilização por tipo de veículo e o fim de vida dos veículos e das baterias.

### 4.1 Fase de Produção dos Veículos

Para a realização deste trabalho foi feita uma pesquisa bibliográfica de onde foi retirado grande parte dos dados utilizados. A base de dados Ecoinvent, o artigo de Notter et al. de 2010, o estudo Sustainable Energy of Ireland (SEI) de 2007 e o artigo de Kazuhiko Nishimura et al. de 2001 foram as principais fontes de dados.

#### 4.1.1 Veículos

Devido à indisponibilidade dos produtores dos veículos utilizados neste trabalho na cedência de dados necessários à ACV, foram realizadas aproximações. Com base nos trabalhos acima referidos foram calculados os valores médios dos materiais constituintes de cada tipo de veículo (VCI, VEH e VEB).

Com estes valores médios, com os valores da massa dos veículos e da massa das baterias, que são disponibilizados ao público pelos comerciantes dos veículos, foi realizada uma aproximação de cada tipo de material a cada modelo de veículo a ser estudado. Os valores utilizados, que foram disponibilizados ao público pelos comerciantes dos veículos, não têm qualquer validade científica e servem apenas para realizar uma aproximação dos valores médios de cada tipo de veículo aos modelos em estudo. Na tabela 4.1 encontram-se os valores anteriormente referidos.

Tabela 4.1 – Massa dos diferentes modelos em estudo e das suas baterias.

Tipo de veículo	Golf (VCI)	Prius (VEH)	Leaf (VEB)
Tara (kg)	1286	1495	1521
Bateria (kg)	-	40	300

Os valores de cada material constituinte, resultantes dessa aproximação, estão descritos na tabela 4.2, assim como as respectivas percentagens. De forma a reduzir o erro da aproximação a bateria foi calculada à parte. Os materiais “Óleos e Lubrificantes” foram calculados com base na tara do respectivo modelo.

Tabela 4.2 – Materiais e percentagens de cada material constituinte dos modelos em estudo.

<b>Materiais (kg)</b>	<b>Golf</b>	<b>%VCI</b>	<b>Prius</b>	<b>%VEH</b>	<b>Leaf</b>	<b>%VEB</b>
Aço e Ferro	837,3	65,1	832,8	57,2	697,6	57,1
Sintéticos e Plásticos	159,4	12,4	166,1	11,4	152,1	12,5
Metais leves	63,3	4,9	201,2	13,8	75,5	6,2
Pneus e Borrachas	65,1	5,1	38,0	2,6	84,7	6,9
Vidro	40,7	3,2	42,5	2,9	40,8	3,3
Componentes eléctricos	29,7	2,3	97,5	6,7	79,7	6,5
Metais comuns	41,2	3,2	55,2	3,8	67,5	5,5
Tintas	3,7	0,3	4,3	0,3	4,1	0,3
Outros	45,9	3,6	17,4	1,2	19,0	1,6
<b>Tara</b>	1286	-	1455	-	1221	-
Óleos e Lubrificantes	40,6	3,2	37,2	2,6	4,7	0,4

A partir da Tabela 4.2 podemos verificar que o VEB é o modelo com menos Aço e Ferro pois não tem um motor de combustão. O VEH é o veículo com maior quantidade de Metais Leves pois contempla duas motorizações. Como seria de esperar o VCI é o tipo de veículo com menos componentes eléctricos e o VEB é o veículo com menos quantidade de Óleos e Lubrificantes devido à menor quantidade de partes móveis.

Para a realização da ACV foi utilizado o processo designado por ‘*passenger car/p/RER/T*’, desenvolvido por Spielmann (2007) que se encontra na base de dados Ecoinvent e modificado de forma a se ajustar aos modelos em estudo e aos dados disponíveis.

Nas tabelas 4.3 e 4.4 encontramos todos os processos em causa, respectiva massa e percentagens calculadas com base nos dados anteriormente apresentados para o modelo VEB em estudo. São ainda apresentados os valores do consumo de água, consumo de energia e respectivas fontes, o transporte dos materiais, as infra-estruturas necessárias à produção dos veículos e ainda as emissões para o ar e para a água. Estes valores foram calculados a partir dos dados de Notter et al. 2010 e da base de dados Ecoinvent, através de uma aproximação tendo em conta a massa dos veículos em estudo. Os dados para o VEH e o VCI encontram-se no anexo A e as traduções dos nomes dos processos encontram-se no anexo D.

Tabela 4.3 – Processos, massas e percentagens do VEB utilizados na ACV.

	<b>Nome no Ecoinvent</b>	<b>Leaf</b>	<b>%</b>	<b>Unidades</b>
<b>Tecnosfera</b>	steel, low-alloyed, at plant	107,9	57,1	Kg
	sheet rolling, steel, at plant	589,7		Kg
	nickel, 99,5%, at plant	2,0	6,2	Kg
	aluminium, production mix, at plant	73,5		Kg
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	92,9	12,5	Kg
	polypropylene, granulate, at plant	44,6		Kg
	polyvinylchloride, at regional storage	14,6		Kg
	synthetic rubber, at plant	84,7	6,9	Kg
	flat glass, uncoated, at plant	40,8	3,3	Kg
	alkyd paint, white, 60% in solvent, at plant	4,1	0,3	Kg
	zinc for coating, at regional storage	10,2	5,5	Kg
	wire drawing, copper	17,4		Kg
	copper, at regional storage	17,4		Kg
	lead, at regional storage	22,4		Kg
	platinum, at regional storage	0,0011	1,6	Kg
	palladium, at regional storage	0,0002		Kg
	chromium, at regional storage	1,7		Kg
	ethylene, average, at plant	13,3		Kg
	ethylene glycol, at plant	3,4		Kg
	sulphuric acid, liquid, at plant	0,6		Kg
Lubricating oil, at plant	4,7	0,4	Kg	
Componentes eléctricos	79,7	6,5	kg	
Tap water, at user	2463	-	Kg	

Tabela 4.4 – Processos, massas e percentagens do VEB utilizados na ACV (continuação).

	<b>Nome no Ecoinvent</b>	<b>Leaf</b>	<b>%</b>	<b>Unidades</b>
<b>Tecnosfera</b>	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW	2397,2	-	MJ
	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid	2310,9	-	kWh
	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	68,7	-	MJ
	Transport, lorry >16t	53,0	-	tkm
	Transport, freight, rail	530,0	-	tkm
	Road vehicle plant	3,E-07	-	p
	<b>Emissões para o ar</b>	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	5,1776	-
Heat, waste		8316,4	-	Mj
<b>Emissões para a água</b>	COD, Chemical Oxygen Demand	0,2084	-	Kg
	BOD5, Biological Oxygen Demand	0,0281	-	Kg
	Phosphate	0,0011	-	Kg

O consumo de água apresentado na tabela anterior diz respeito à produção da base do veículo e do sistema de propulsão de combustão interna, sendo que o consumo de água na produção dos componentes eléctricos será contabilizado no próximo subcapítulo. De forma idêntica ao consumo de água, a produção de energia, as emissões para o ar e para a água excluem a produção dos componentes eléctricos. Visto que não foram encontrados dados sobre o transporte e os impactes provocados pelas infra-estruturas necessárias à produção dos veículos, para o modelo Prius e Leaf foram considerados os mesmos impactes provocados pelo modelo Golf.

De forma a se compreender melhor o método utilizado, no anexo E, é apresentada uma explicação dos cálculos utilizados, para encontrar os valores apresentados nas tabelas 4.3 e 4.4 e a forma de como se utiliza o programa.

Com os dados da tabela anterior e do Anexo A podemos verificar que o consumo de água, a energia necessária à produção e as emissões foram maiores no modelo Prius devido a ser o veículo com a maior massa. O modelo Leaf encontra-se distanciado dos outros modelos por não ter um sistema de propulsão de combustão interna e de os componentes eléctricos ainda

não terem sido contabilizados, para além de que tanto no modelo Leaf como no Prius a produção das baterias também não foi ainda contabilizada.

#### **4.1.2 Componentes Eléctricos**

Nesta secção serão apresentados os processos para o cálculo dos componentes eléctricos, que são constituídos pelo motor eléctrico, caixa de velocidades, controlador, carregador de baterias, cablagem e sistema de arrefecimento.

Para o cálculo dos impactes provocados pelos componentes eléctricos foram utilizados processos da base de dados Ecoinvent e com base no trabalho desenvolvido por Notter et al. 2010 foi feita uma aproximação da quantidade necessária de cada material e processo para a produção de 1 kg. Para fazer essa aproximação e calcular as emissões associadas, o consumo de água e o consumo de energia foi utilizada a massa total dos componentes eléctricos. Na tabela 4.5 encontramos os processos e as massas necessárias à produção de 1kg de componentes eléctricos.

Tabela 4.5 – Processos utilizados na ACV na produção de 1kg de componentes eléctricos.

	<b>Nome no Ecoinvent</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
<b>Tecnosfera</b>	steel, low-alloyed, at plant	0,3245173	Kg
	ferrite, at plant	0,1166234	Kg
	neodymium oxide, at plant	0,0042593	Kg
	boron carbide, at plant	0,0002028	Kg
	copper, at regional storage	0,0811293	Kg
	Aluminium, production mix, at plant	0,347842	Kg
	Polyphenylene sulfide, at plant	0,0294499	Kg
	Printed wiring board, mixed mounted, unspec., solder mix, at plant	0,0324517	Kg
	cable, three-conductor cable, at plant	0,0253123	Kg
	reinforcing steel, at plant	0,0109525	Kg
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	0,0053545	Kg
	Ethylene glycol, at plant	0,0170372	Kg
	Synthetic rubber, at plant	0,0048678	Kg
	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW	2,0444589	MJ
	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid	1,9714425	kWh
	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	0,0567905	MJ
	Tap water, at user	2,9612202	kg
	Transport, lorry >16t	0,0486776	tkm
Transport, freight, rail	0,4867759	tkm	
<b>Emissões para a água</b>	COD, Chemical Oxygen Demand	0,0001775	kg
	BOD5, Biological Oxygen Demand	2,392E-05	kg
	Phosphate	9,168E-07	kg
<b>Emissões para o ar</b>	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	0,004381	kg
	Heat, waste	7,0825896	MJ

A partir da tabela é possível verificar que para produzir 1kg de componentes eléctricos são necessários 1,97Kwh de energia eléctrica, 2MJ de gás natural para aquecimento, 0,0568MJ de combustível fóssil e 2,96kg de água.

#### 4.1.3 Baterias

Nos modelos estudados existem diferentes tipos de tecnologias de baterias utilizadas, as de níquel e as de lítio. Em ambas as tecnologias as baterias são constituídas por vários módulos que contêm várias células de bateria, ou seja, ao embalar várias células de bateria forma-se um módulo e ao embalar vários módulos forma-se o conjunto de bateria.

- **Bateria de níquel**

O modelo Toyota Prius utiliza um conjunto de baterias de níquel, com a tecnologia NiMH (Hidretos Metálicos de Níquel), com uma voltagem nominal de 201,6 V, 28 módulos e 40 kg de massa. (www.toyota.pt)

Para a ACV foi utilizado o processo denominado por “*Battery, NiMH, rechargeable, prismatic, at plant*” desenvolvido por Roland Hischer em 2007, que se encontra na base de dados Ecoinvent.

- **Bateria de Lítio:**

O modelo Nissan Leaf utiliza uma bateria de lítio, mais concretamente uma bateria de LiFePO<sub>4</sub>, que para a ACV foi construída no programa *SimaPro* com base em Mats Zackrisson et al. 2010.

A bateria tem uma massa total de 300kg, em que se assumiu 10% do peso total da bateria para a electrónica e embalagem, 24kWh de capacidade e tem 48 módulos. Para o cálculo dos impactes provocados pela produção da bateria foi utilizado a massa do conjunto de bateria e criado um novo processo.

Na tabela 4.6 encontramos os constituintes da bateria e os processos para a produção da bateria utilizados no estudo. Para o transporte foram utilizados os mesmos valores que para a bateria de NiMH, retirados da base de dados do Ecoinvent.

Tabela 4.6 – Processos utilizados na ACV para a produção de 1kg de  $\text{LiFePO}_4$ .

Componentes da Bateria		Nome na base de dados Ecoinvent		
Bateria	Electrónica e Embalagem da Bateria	polypropylene, granulate, at plant		
		Resistor, unspecified, at plant		
		Transistor, unspecified, at plant		
	Célula de Bateria $\text{LiFePO}_4$	Ânodo	Graphite, at plant	
			Sheet rolling, copper	
			Polyvinylfluoride film, at plant	
		Cátodo	$\text{LiFePO}_4$	Ferrite, at plant
				Graphite, at plant
				Diammonium phosphate, as N, at regional store house
				Lithium carbonate, at plant
			Circuitos eléctricos	Sheet rolling, aluminum
				Carbon black, at plant
				Polyvinylfluoride film, at plant
		Electrólito	Resistor, unspecified, at plant	
			Transistor, unspecified, at plant	
		Embalagem	Ethylene glycol diethyl ether, at plant	
			Lithium chloride, at plant	
		Separador	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	
			Sheet rolling, aluminum	
			polyethylene, HDPE, granulate, at plant	
	polypropylene, granulate, at plant			
			transport, lorry >16t	
			Transport, freight, rail	
		Electricity, low voltage, at grid/PT 2010		
		Heat, natural gas, at boiler atm. Low-NOx condensing non-modulating <100kW		

A bateria utilizada no VE é constituída por células de bateria, electrónica controladora da carga e descarga do conjunto da bateria e embalagem dos módulos. A bateria do Nissan Leaf com uma capacidade de 24kWh, tem aproximadamente 240 células, em que cada célula é

constituída por um ânodo, cátodo, circuitos eléctricos, electrólito, separador e respectiva embalagem em módulo.

## **4.2 Aquisição e Processamento de Dados na Fase de Utilização e Fim de Vida**

Neste subcapítulo encontra-se a metodologia de cálculo dos impactes provocados pela utilização e fim de vida dos veículos em estudo. O subcapítulo está dividido em três partes, em que na primeira se apresenta a metodologia de cálculo da utilização do VCI e do VEH, na segunda apresenta-se a utilização do VE com dois cenários para a produção de energia eléctrica. Finalmente na terceira parte é apresentada a metodologia de cálculo para o fim de vida dos veículos com os respectivos cenários de reciclagem dos materiais.

### **4.2.1 Utilização do VCI e do VEH**

Para o cálculo dos impactes durante a fase de utilização do VCI foi novamente utilizado o programa *SimaPro*, onde foram calculados os impactes provocados pela operação do veículo e pela sua manutenção.

Na determinação dos impactes provocados pela operação do veículo foi usado o processo designado por “*Operation, passenger car, petrol, fleet average/RER U*” desenvolvido por Michael Spielmann em 2007 e adaptado ao consumo do veículo em estudo de forma a originar os resultados para a fronteira da ACV definida anteriormente como sendo de 200000 km.

Foi ainda utilizado o processo denominado por “*Maintenance, passenger car/RER/I U*” desenvolvido por Michael Spielmann em 2004 na determinação dos impactes provocados pela manutenção do veículo ao longo da sua vida. Nesta manutenção foram excluídas intervenções devido a avarias, pequenas intervenções e intervenções devido a acidentes.

Na fase de utilização do VEH foram calculados as mesmas fontes de impactes que para o VCI, mas com uma redução na operação visto que o VCI em estudo consome em média 6,2 l/100km e o VEH em estudo consome perto de 4 l/100km. A parte da manutenção terá uma redução de 10% em relação ao VCI devido à existência da propulsão eléctrica que não requer praticamente manutenção, não sendo analisada neste trabalho devido aos seus valores insignificantes.

#### 4.2.2 Utilização do VEB

No cálculo dos impactes provocados na fase de utilização do VEB foi necessário calcular as emissões da produção de energia eléctrica em Portugal para poder determinar os impactes provocados pela utilização do veículo. Na tabela 4.7 encontramos o mais recente *mix* energético português com a respectiva importação referente ao ano de 2010, retirado de Dados Técnicos, REN 2010.

Tabela 4.7 – Fontes e respectiva produção de energia eléctrica em Portugal no ano de 2010 (Dados técnicos REN 2010).

Fontes de produção	GWh
PRODUÇÃO EM REGIME ORDINÁRIO	32169
Hidráulica	14869
Térmica	17299
Carvão	6553
Gás Natural	10700
Fuel/ Gasóleo	47
PRODUÇÃO EM REGIME ESPECIAL	17924
Hidráulica	1379
Térmica	7313
Eólica	9024
Fotovoltaica	207
SALDO IMPORTA DOR	2623
Importação (valor comercial)	4350
Exportação (valor comercial)	1718
BOMBAGEM HIDROELÉCTRICA	512
CONSUMO TOTA L	54955

Da tabela acima retira-se que, em Portugal, as fontes de energia renovável (Hidráulica, Eólica, Fotovoltaica) em 2010 são superiores às fontes de energia não renovável (Carvão, Gás Natural, Fuel/ Gasóleo) e que a importação é inferior a 8% da produção total. As maiores fontes de energia renovável em Portugal são a Hidráulica e a Eólica. O Gás Natural é a maior fonte de energia não renovável, sendo a que provoca menos impactes das três principais fontes não renováveis.

De forma a ter uma melhor noção dos impactes e um termo de comparação, foi realizado outro cenário de produção de energia eléctrica tendo em conta o *mix* energético português com a respectiva importação referente ao ano de 2009 que se encontra na tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Fontes e respectiva produção de energia eléctrica em Portugal no ano de 2009 (Dados Técnicos REN 2009).

<b>Fontes de produção</b>	<b>GWh</b>
<b>PRODUÇÃO EM REGIME ORDINÁRIO</b>	<b>31602</b>
Hidráulica	7894
Térmica	23708
Carvão	11942
Gás Natural	11463
Fuel/ Gasóleo	303
<b>PRODUÇÃO EM REGIME ESPECIAL</b>	<b>14422</b>
Hidráulica	825
Térmica	5966
Eólica	7493
Fotovoltaica	139
<b>SALDO IMPORTADOR</b>	<b>4777</b>
Importação (valor comercial)	5616
Exportação (valor comercial)	827
<b>BOMBAGEM</b>	
<b>HIDROELÉCTRICA</b>	<b>929</b>
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>49873</b>

A produção de energia eléctrica em Portugal no ano de 2009 é consideravelmente diferente do ano de 2010, pois a maioria da energia produzida tem fontes não renováveis e a importação já é superior aos 11% da produção total. As maiores fontes de energia renovável em Portugal são as mesmas que em 2010, mas a maior fonte de energia não renovável em 2009 é o carvão.

Utilizando a base de dados Ecoinvent foi construído o processo de produção da energia eléctrica com base no processo existente denominado por “*Electricity mix /PT U*” desenvolvido por Matthias Tuchschnid em 2007. De forma a ter em conta os impactes provocados pelo transporte de energia, construção da rede eléctrica, perdas de energia durante o transporte, transformação de alta tensão para média tensão e de média tensão para baixa tensão e emissões directas para a atmosfera (Ozono e N<sub>2</sub>O), foram modificados alguns

processos de forma a utilizar os dados das fontes de produção de energia eléctrica mais recentes para um consumo efectuado na rede de baixa tensão incluindo a importação.

No VEB em estudo, o consumo de energia para as fronteiras do ciclo de vida definidas de 200000 km é de 28000 kWh, tendo em conta o consumo anunciado pelo comerciante de 14 kWh/100km, que já tem em conta a eficiência do carregador, eficiência do sistema de propulsão e perda de energia nas baterias.

Segundo R.M. Cuenca et al. 1999, o VEB comparado com os outros veículos em estudo tem uma manutenção extremamente reduzida. O VEB apenas usa 25% da energia gasta na manutenção de um VCI, 0% em óleos e filtros, 20% em manutenções rotineiras comparativamente ao VCI e um aumento de 10% na manutenção dos pneus. Foi então adaptado o processo denominado por “*Maintenance, passenger car/RER/I U*” desenvolvido por Michael Spielmann em 2004, à manutenção requerida por um VEB e considerado o mesmo numero de manutenções que para um VCI, ou seja 19.

Relativamente ao conjunto de baterias foi considerada a troca a cada 10 anos visto, que segundo o comerciante do veículo, o conjunto de baterias, com essa idade terá 70% da sua capacidade inicial reduzindo assim a sua autonomia para perto dos 120 km.

#### **4.2.3 Fim de Vida**

A fase final da ACV de um produto consiste na análise dos processos a que os resíduos produzidos são sujeitos. Alguns materiais são reciclados resultando em novos materiais, outros sujeitos a processos de tratamento, que poderão produzir electricidade e calor. A grande questão é se os impactes provocados ou evitados por estes processos pertencem ao sistema do produto em estudo, ou se pertencem ao sistema do produto a que esses novos materiais vão dar origem.

Na grande maioria dos casos este problema é resolvido através do um método denominado “cut-off” onde os materiais que são reciclados e que deram origem aos produtos em estudo não são considerados no inventário inicial do produto, ou seja, não entram sequer no sistema em estudo, mas neste trabalho todos os materiais utilizados na produção dos veículos foram materiais provenientes apenas de matéria-prima e não de materiais já reciclados. Por essa razão, foi necessário calcular os impactes evitados devido à reciclagem e tratamento dos materiais no final do ciclo de vida.

Para calcular os impactes evitados é necessário calcular a quantidade de material que é reciclado. Para tal foram utilizados os valores da tabela 4.9 retirados do trabalho Sustainable

Energy of Ireland (SEI) de 2007 e com recurso a base de dados Ecoinvent e ao programa *SimaPro* foram calculados os impactes evitados.

Tabela 4.9 – Taxas de reciclagem dos materiais constituintes dos veículos (SEI 2007).

Material	%
Metais	98
Compósitos	90
Alumínio	98
Cobre	98
Zinco	98
Chumbo	98
Magnésio	98
Níquel	98
Lítio	80
Plásticos	60
Borrachas	60
Vidro	40

Com estes valores é previsto uma taxa global de reciclagem de 80% para o VCI, 87% para o VEH e de 81% para o VEB.

Para a reciclagem das baterias do VEB foram considerados dois cenários, visto não ter sido encontrado uma entidade que realize este tipo de tratamento. Será então realizado o estudo para a reciclagem de 85% e 95% das baterias de lítio. Para as baterias do VEH foi utilizado uma taxa de reciclagem de 80%. Os materiais que não são recicláveis não serão contabilizados, devido à falta de dados na literatura estudada.

## 5. AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Neste capítulo será apresentado os resultados da ACV e será feita uma critica detalhada a esses resultados. O capítulo está dividido em quatro partes, em que na primeira serão apresentadas as categorias de impactes estudadas, na segunda os resultados dos impactes provocados pela produção dos veículos. Na terceira parte encontramos os resultados dos impactes da produção e reciclagem das baterias e finalmente na quarta parte encontramos uma comparação dos resultados obtidos com a literatura existente.

### 5.1 Categorias de Impacte

Para determinar os impactes provocados pelos veículos foi necessário utilizar um método de cálculo existente no software do *SimaPro*. O método escolhido foi o CML 2 (Center of Environment Science of Leiden University), pois é um método que foi desenvolvido para trabalhar com a base de dados Ecoinvent e que fornece quantidades de diversas categorias de impacte. As principais categorias de impacte deste método encontram-se na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Categorias de impacte do método CML 2 e respectivas unidades.

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidades (kg)</b>
Depleção Abiótica	Sb-eq
Acidificação	SO <sub>2</sub> -eq
Eutrofização	PO <sub>4</sub> -eq
Ecotoxicidade Aquática de Água Doce	1,4-DB-eq
Aquecimento Global (GWP100)	CO <sub>2</sub> -eq
Toxicidade Humana	1,4-DB-eq
Ecotoxicidade Aquática Marinha	1,4-DB-eq
Depleção da Camada de Ozono (ODP)	CFC-11-eq
Oxidação Fotoquímica	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Ecotoxicidade Terrestre	1,4-DB-eq

Segundo Rolf Frischknecht et al. 2007, no terceiro relatório da Ecoinvent e ao realizar uma análise de incerteza à produção dos veículos, cujos resultados se podem ver na tabela 5.2, as categorias Toxicidade Humana, Ecotoxicidade Aquática de Água Doce, Ecotoxicidade Aquática Marinha e Ecotoxicidade Terrestre têm uma elevada incerteza devido ao tempo de

permanência desconhecido no oceano e da incerteza na modelagem do destino dos poluentes inorgânicos. Devido a essa incerteza as categorias referidas não serão utilizadas neste trabalho. A tabela 5.2 foi calculada através de uma ferramenta do programa *SimaPro* com base nos dados da produção dos veículos.

Tabela 5.2 – Resultados da análise de incerteza com um intervalo de confiança de 95%.

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>	<b>Err.Pad. da média</b>
Depleção Abiótica	20%	0,00634
Acidificação	7,83%	0,00247
Eutrofização	14,60%	0,00463
Ecotoxicidade Aquática de Água Doce	<b>41,30%</b>	<b>0,0131</b>
Aquecimento Global (GWP100)	9,35%	0,00296
Toxicidade Humana	<b>23,10%</b>	<b>0,00732</b>
Ecotoxicidade Aquática Marinha	<b>33,70%</b>	<b>0,0107</b>
Depleção da Camada de Ozono (ODP)	22,80%	0,00722
Oxidação Fotoquímica	12,10%	0,00384
Ecotoxicidade Terrestre	<b>29,90%</b>	<b>0,00946</b>

De forma a compreender os impactes são explicadas, a seguir, as categorias estudadas:

- **Depleção Abiótica:** A depleção dos recursos abióticos engloba tanto o consumo dos recursos abióticos renováveis como os não renováveis, como o vento, água, a terra, ferro, ouro, cobre, etc. Os impactes provocados sobre esta categoria representam a exploração destes materiais abióticos e o seu consumo não renovável.
- **Acidificação:** A acidificação ocorre quando a capacidade dos solos ou da água para resistir ou neutralizar acidificantes provenientes da atmosfera começa a diminuir. Os compostos acidificantes são transportados da atmosfera para o chão através da chuva ou neve na forma de partículas ou gases, atacando os ecossistemas que perdem a capacidade de neutralização se a acidificação for persistente, excedendo os níveis de tolerância.
- **Eutrofização:** A Eutrofização consiste no aumento da taxa de fornecimento de matéria orgânica a um ecossistema. Essa matéria orgânica consiste essencialmente

em fosfatos e nitratos, que promovem o crescimento de algas que consomem todo o oxigénio existente na água causando a morte dos organismos aquáticos dependentes desse oxigénio.

- **Aquecimento Global:** O aquecimento global consiste no aumento médio da temperatura na terra devido ao efeito de estufa provocado pelas emissões atmosféricas de dióxido de carbono, metano, ozono, etc. Este aumento de temperatura poderá causar o degelo dos glaciares e consequente aumento do nível do mar, a alteração dos padrões de precipitação e aumento das áreas de deserto entre outras consequências.
- **Depleção da Camada de Ozono:** Consiste na redução da quantidade de ozono existente na estratosfera da terra. Este fenómeno conhecido como o buraco da Camada de Ozono é provocado pela emissão de CFC's entre outros compostos, que vai permitir a passagem dos raios ultra violeta pela atmosfera e aumentar o risco de cancro da pele, redução da população de plâncton, destruição de algumas espécies de plantas, etc.
- **Oxidação Fotoquímica:** é uma reacção química iniciada pela luz, onde uma substância é levada a libertar electrões e consequentemente a formação de outras substâncias. Um exemplo bastante conhecido é smog provocado por hidrocarbonetos e NOx que reagem sob a influência da luz ultra violeta.

## 5.2 Impactes Provocados Pelos Veículos

Os resultados da ACV serão apresentados segundo a categoria de impacte estudada e está organizado de forma aos impactes poderem ser comparados dentro dos diferentes tipos de veículo. Os impactes apresentados já têm em conta a unidade funcional de 200000 km, definida anteriormente. Os impactes provocados pelas baterias são estudados com maior detalhe no subcapítulo seguinte, sendo que neste subcapítulo foi assumido uma taxa de reciclagem de 80% para as baterias de ambos os VE. O VE 2010 representa o VEB com o consumo de energia eléctrica, na fase de utilização, produzida pelo *mix* energético português de 2010. O VE 2009 é em tudo semelhante ao VE 2010 excepto no consumo de energia eléctrica, na fase de utilização, que é produzido pelo *mix* energético português de 2009. Na tabela 5.3 encontra-se um resumo dos impactes provocados por cada veículo nas categorias estudadas, excluindo os impactes evitados pela reciclagem no fim de vida.

Tabela 5.3 – Resumo dos impactes provocados por cada tipo de veículo.

Categoria de impacte	VE 2010	VE 2009	VEH	VCI
Depleção Abiótica (kg Sbeq)	198,23	238,34	275,94	366,35
Acidificação (kg SO <sub>2</sub> eq)	153,10	200,44	160,87	150,41
Eutrofização (kg PO <sub>4</sub> eq)	8,863	11,267	12,611	15,324
Aquecimento Global (GWP100) (kg CO <sub>2</sub> eq)	24100	29360	41131	55271
Depleção da Camada de Ozono (ODP) (kg CFC-11eq)	0,0018	0,0020	0,0087	0,0074
Oxidação Fotoquímica (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	6,703	8,345	17,063	21,761

Podemos observar na tabela 5.3 que o VE 2010 e o 2009 são os veículos com menores impactes excepto na categoria da acidificação onde o VCI é o veículo com menores impactes. Comparando o VEH com o VCI observa-se que o VCI tem menores impactes na acidificação e na depleção da Camada de Ozono, em todas as outras categorias de impacte o VEH tem menores impactes.

De forma a considerar as categorias de impacte com maior relevância, através do *SimaPro* foi construído o gráfico da figura 5.1, onde os dados da tabela 5.3 foram sujeitos a um factor de ponderação, dado pelo método CML 2, com a intenção de normalizar os valores obtidos.

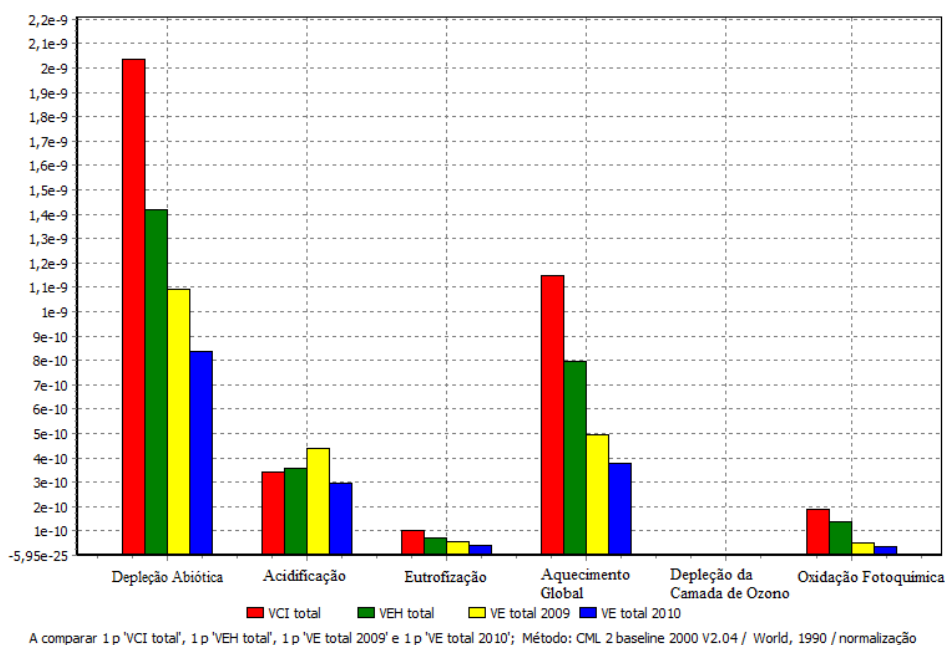


Figura 5.1 – Valores normalizados por veículo e categoria de impacte.

Observando a figura 5.1 chega-se à conclusão de que as categorias com maior preponderância são a Depleção Abiótica, o Aquecimento Global e a Acidificação. A depleção da Camada de Ozono é a categoria com menor relevância.

Os impactes da Depleção Abiótica estão representados na figura 5.2 em kg de Antimónio equivalente (kg Sbeq). O consumo de gasolina e electricidade referem-se apenas à fase de utilização. Para o estudo do fim de vida da bateria de lítio foi utilizado o cenário com 80% de reciclagem.

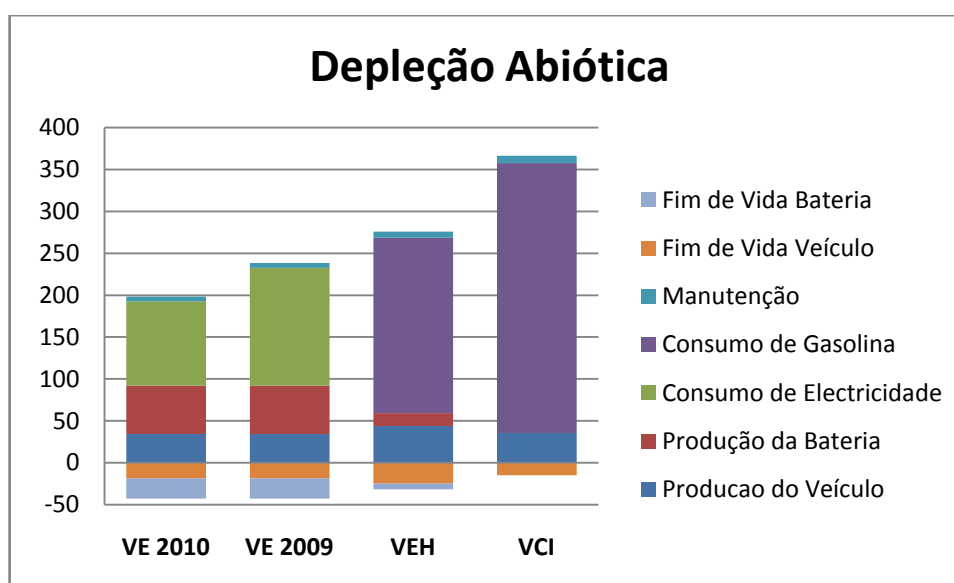


Figura 5.2 – Significância das fases do ciclo de vida para os impactes da Depleção Abiótica (cenário com 80% de reciclagem).

Da figura 5.2 podemos observar que o veículo que mais impactes provoca é o VCI e o que menos impactes provoca é o VE 2010 com menos 46% dos impactes provocados pelo VCI, que, se tivermos em conta o fim de vida, esse valor passa para os 56% a menos dos impactes provocados pelo VCI. Podemos também verificar que para o mesmo veículo, mas com *mix* de produção energética diferente na fase de utilização obtemos uma diferença de 17% dos impactes sem contabilizar o fim de vida. Em todos os veículos estudados a fase que maior impactes provoca é a fase de utilização, com 53,5% pelo VE 2010, 61% pelo VE 2009, 79% do VEH e 90% no caso do VCI. Dentro da fase de utilização, o consumo de combustível é o que apresenta largamente a maior importância, como seria de prever. Na fase de produção é possível verificar que o conjunto de baterias no caso do VE 2010 e do VE 2009 é o que tem a maior significância com 63% dos impactes, enquanto no caso do VEH o conjunto de baterias tem apenas 26% dos impactes sendo o restante para a produção do veículo. Relativamente ao fim de vida é possível verificar que o VE 2010 consegue reduzir em 22% a totalidade dos

impactes da Depleção Abiótica se tiver uma reciclagem de 80% da bateria, enquanto o VE 2009 reduz em 18%, o VEH em 11,5% e o VCI consegue reduzir 4% da totalidade dos impactes produzidos no seu ciclo de vida.

Para o caso da Acidificação podemos encontrar os resultados na figura 5.3 em kg de dióxido de enxofre equivalente (kg SO<sub>2</sub>eq). De forma idêntica à Depleção Abiótica o consumo de gasolina e de electricidade referente apenas à fase de utilização e o cenário utilizado no fim de vida das baterias de lítio foi o de 80% de reciclagem.

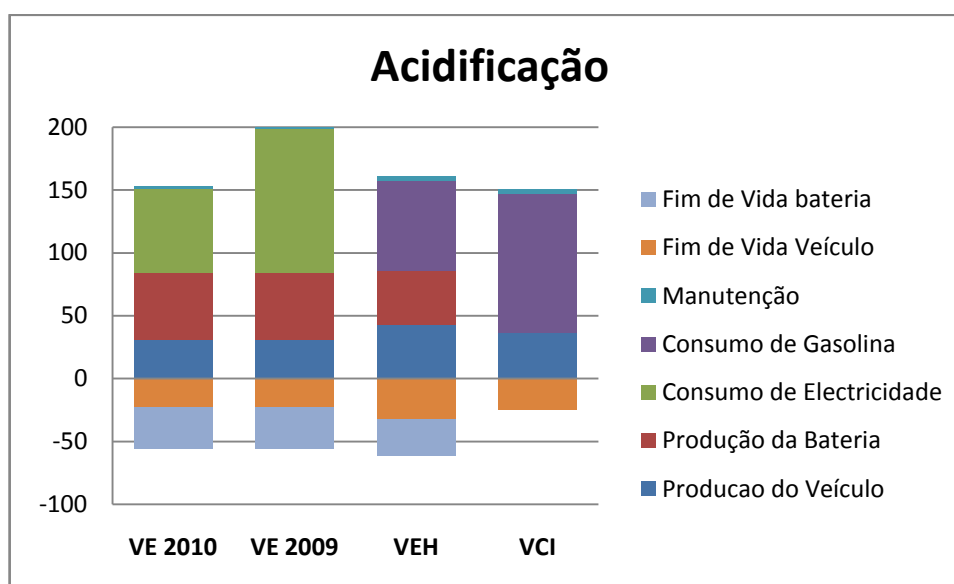


Figura 5.3 – Significância das fases do ciclo de vida para os impactes da Acidificação (cenário com 80% de reciclagem).

Podemos então observar que o veículo que mais impactes provoca na categoria de Acidificação é o VE 2009 que provoca 25% mais impactes que o VCI que é o veículo que menos impactes provoca nesta categoria sem ter em conta o fim de vida. Nesse caso o veículo que menos impactes provocaria seria o VEH com menos 35% dos impactes provocados pelo VE 2009 que continuaria a ser o veículo que mais impactes produziria. A diferença entre o VE 2010 e o VE 2009 ronda os 24% sem ter em conta o fim de vida. Tanto o VE 2010 como o VEH provocam maiores impactes na fase de produção com 55% e 53% respectivamente e tanto o VE 2009 como o VCI provocam maiores impactes na fase de utilização com 58% e 76% respectivamente. Relativamente à fase de utilização observamos que a manutenção tem muito pouco significado pois o consumo de combustível é muito superior. Na fase de produção temos a maior fatia na produção das baterias com ambos os VE tendo uma importância de 54% enquanto no VEH a produção das baterias tem apenas uma importância de 43% ficando a produção do veículo com a maior quantidade de impactes provocados. Com

o fim de vida dos veículos é possível recuperar 36% no VE 2010, 28% no VE 2009, com um bom resultado para o VEH, pois é possível recuperar 38% e apenas 17% no VCI.

Na Eutrofização o resultado dos impactes é apresentado na figura 5.4 em kg de fosfato equivalente (kg PO<sub>4</sub>eq). O consumo de combustível e a reciclagem das baterias têm as mesmas características que a categoria anterior.

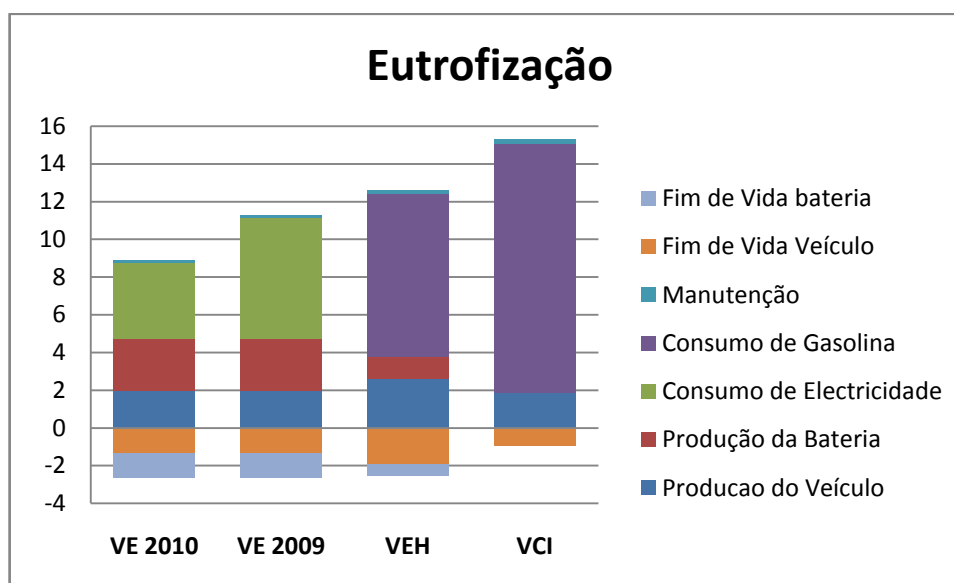


Figura 5.4 – Significância das fases do ciclo de vida para os impactes da Eutrofização (cenário com 80% de reciclagem).

Analisando os dados da figura 5.4 concluímos que o VCI é o veículo que mais impactes provoca na categoria da Eutrofização com 42% mais impactes que o VE 2010 que é o veículo que menos impactes provoca se não tivermos em conta o fim de vida e nesse caso o valor seria de 57%. Entre o VE 2010 e o 2009 a diferença é de 21% se não tivermos em conta o fim de vida. A fase que mais impactes provoca é a produção no caso do VE 2010 com 53% e a utilização nos restantes com 58% no caso do VE 2009, 79% no VEH e 88% no VCI. Na fase de produção 59% dos impactes devem-se à produção das baterias no caso do VE 2010 e do VE 2009 e 31% no caso do VEH. Já na utilização, a manutenção tem muito pouco significado. Com o fim de vida o VE 2010 recupera 30% dos impactes, enquanto o VE 2009 recupera 23%. O VEH consegue recuperar 20% e o VCI apenas recupera 6%.

No que respeita ao Aquecimento Global, encontramos os resultados na figura 5.5 que vêm expressos em kg de dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub>eq). O consumo de combustível e a reciclagem das baterias têm as mesmas características que a categoria anterior.

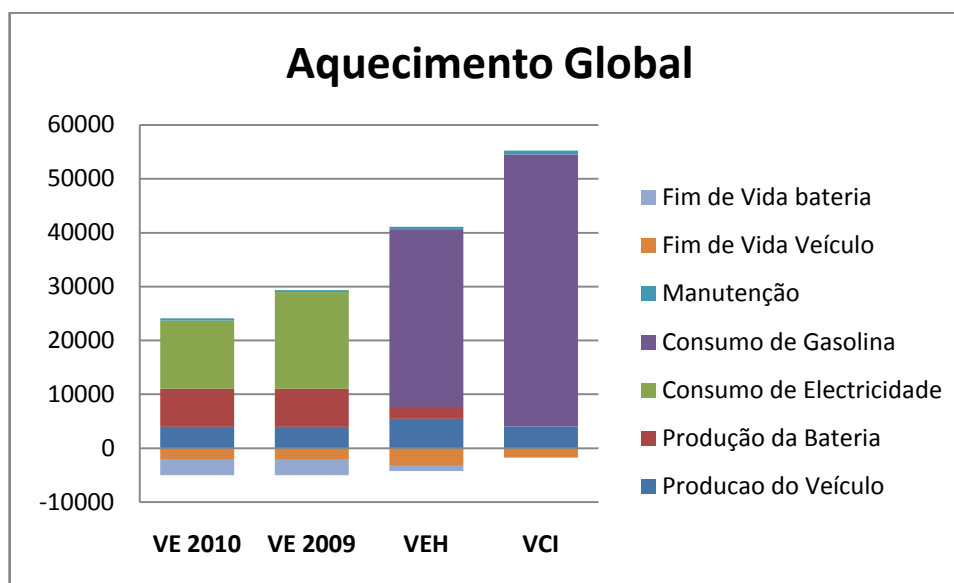


Figura 5.5 – Significância das fases do ciclo de vida para os impactes do Aquecimento Global (cenário com 80% de reciclagem).

Da figura 5.5 retiramos que o veículo que menores impactes origina na categoria do aquecimento global é o VE 2010 com menos 56% que o VCI que é o veículo que maiores impactes produz, sem contabilizar o fim de vida, que nesse caso passaria a 64%. Comparando o VE com consumo de electricidade do *mix* de produção de energia diferente, concluímos que o VE 2010 tem menos 18% sem contabilizar o fim de vida que nesse caso seria uma diferença de 22%. Do ciclo de vida dos veículos a fase que mais impactes provoca nesta categoria para todos os veículos é a fase de utilização com 54% para o VE 2010, 62% para o VE 2009, 81% para o VEH e 93% para o VCI, sendo que nesta fase o consumo de combustível é de longe o maior responsável pelo impactes provocados. Na fase de produção tanto para o VE 2010 como para o VE 2009 a produção da bateria tem a maior fatia com 64% dos impactes, enquanto no VEH a bateria tem um significado de apenas 29%. Em relação ao fim de vida concluímos que o VE 2010 consegue recuperar 21% do total dos impactes do seu ciclo de vida, o VE 2009 recupera 17%, o VEH 10% e no caso do VCI apenas 3%.

Como vimos anteriormente, a categoria com menor relevância é a Depleção da Camada de Ozono em que os resultados se encontram na figura 5.6 em kg de CFC equivalente (kg CFC-11eq). De forma idêntica às categorias anteriores, o consumo de gasolina e electricidade diz respeito apenas à fase de utilização e o fim de vida das baterias tem uma taxa de reciclagem de 80%.

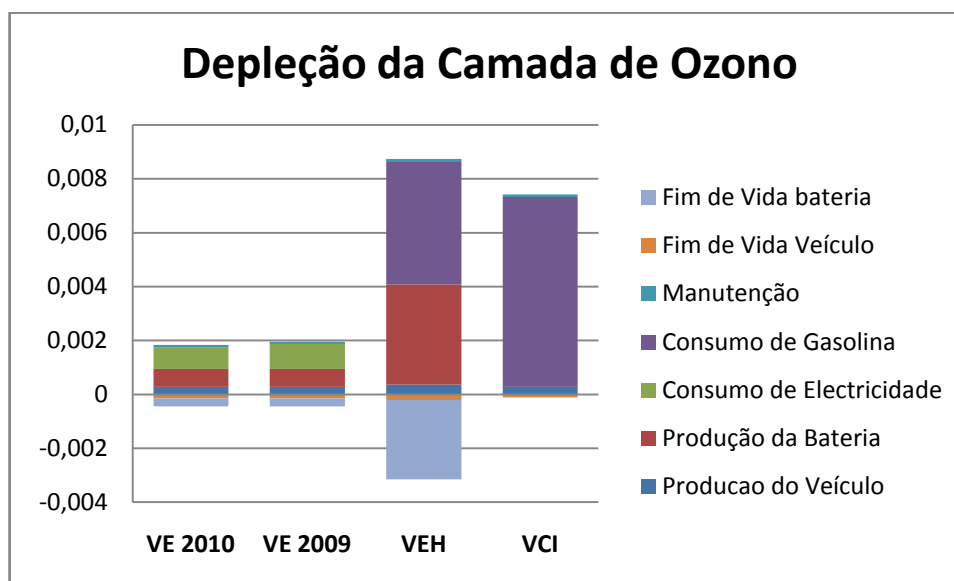


Figura 5.6 – Significância das fases do ciclo de vida para os impactes da Depleção da Camada de Ozono (cenário com 80% de reciclagem).

Os dados da figura 5.6 indicam que o veículo com maiores impactes nesta categoria é o VEH com 79% mais impactes que o veículo com menos impactes que é o VE 2010, sem contar com o fim de vida que nesse caso a diferença seria de 75%. A diferença entre o VE 2010 e o VE 2009 nesta categoria é insignificante. No caso do VE 2010 a fase do ciclo de vida que maiores impactes provoca é a fase de produção com 51%, mas para os outros veículos os maiores impactes encontram-se na fase de utilização, com 52% para o VE 2009, 53% para o VEH e 96% para o VCI. Mais uma vez a manutenção é insignificante comparativamente ao consumo de combustível. Na fase de produção o maior responsável em todos os veículos com bateria é a produção do conjunto de baterias com 71% para o VE 2010 e VE 2009 e 91% para o VEH. Com o fim de vida dos veículos é possível recuperar no caso do VE 2010 e do VE 2009 23% e 24% respectivamente, 36% para o VEH e apenas 1,5% no caso do VCI.

Finalmente temos a categoria da Oxidação Fotoquímica com os resultados apresentados na figura 5.7 expressos em kg de etileno ( $\text{kg C}_2\text{H}_4$ ). O consumo de gasolina e electricidade diz respeito apenas à fase de utilização e o fim de vida das baterias tem uma taxa de reciclagem de 80%.

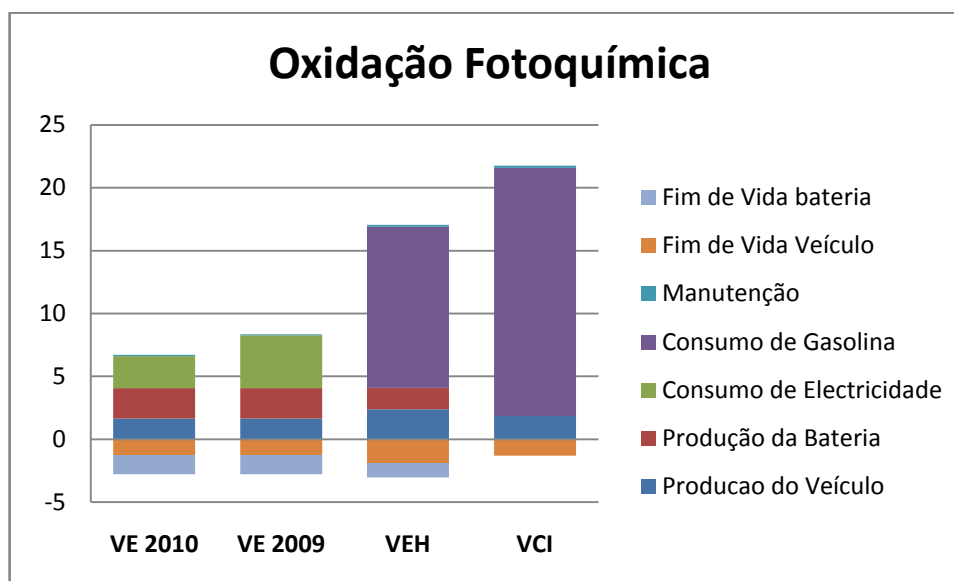


Figura 5.7 – Significância das fases do ciclo de vida para os impactes da Oxidação Fotoquímica (cenário com 80% de reciclagem).

Do gráfico da figura 5.7 podemos retirar que o VE 2010 é o veículo com menores impactes nesta categoria e o VCI o veículo com maiores impactes tendo uma diferença de 69% sem considerar o fim de vida e de 81% considerando o fim de vida. Analisando o VE com o consumo de energia com o *mix* de produção de energia diferente verificamos uma diferença de 20% sem considerar o fim de vida e de 30% considerando o fim de vida sendo que o VE 2010 o que tem menores impactes. Do ciclo de vida dos veículos a fase que tem maiores impactes é a fase de produção no caso do VE 2010 com 61% dos impactes provocados, mas nos restantes é a fase de utilização que tem maior impacte com 51% no caso do VE 2009, 76% no caso do VEH e 91,5% no caso do VCI. Como em todas as outras categorias os impactes provocados na fase de utilização são dominados pelo consumo de combustível. Já na fase de produção no caso do VE 2010 e 2009 os maiores impactes são provocados pela produção da bateria com 60%, mas no VEH os maiores impactes são provocados pela produção do veículo com 58,5%. Com o fim de vida o VE 2010 consegue recuperar 41% dos impactes provocados, o VE 2009 recupera 33%, o VEH 18% e o VCI 6%.

Na tabela 5.4 encontra-se um resumo dos impactes provocados por cada veículo nas categorias estudadas, incluindo os impactes evitados pela reciclagem no fim de vida.

Tabela 5.4 – Resumo dos impactes provocados por cada tipo de veículo com fim de vida.

Categoria de impacte	VE 2010	VE 2009	VEH	VCI
Depleção Abiótica (kg Sbeq)	155,42	195,52	244,33	351,35
Acidificação (kg SO <sub>2</sub> eq)	97,43	144,77	99,72	125,37
Eutrofização (kg PO <sub>4</sub> eq)	6,237	8,641	10,103	14,380
Aquecimento Global (GWP100) (kg CO <sub>2</sub> eq)	19086	24345	36915	53546
Depleção da Camada de Ozono (ODP) (kg CFC-11eq)	0,0014	0,0015	0,0056	0,0073
Oxidação Fotoquímica (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	3,926	5,567	14,031	20,461

Com base na tabela 5.4 podemos concluir que no final do ciclo de vida o veículo que menos impactes produz em quase todas as categorias é o VE com o *mix* de produção de energia eléctrica de 2010, com excepção da acidificação onde o VEH tem menores impactes. Se considerarmos o *mix* de produção de energia eléctrica de 2009, o VCI na categoria da acidificação também produz menos impactes.

Como não podemos comparar os valores de cada categoria entre si, dado que representam diferentes tipos de impactes, é apresentado na tabela 5.5 os resultados dos impactes da categoria Depleção Abiótica (kg Sbeq). Foi escolhida esta categoria porque foi a definida no início deste subcapítulo, como a mais relevante para o ambiente. Estes resultados encontram-se divididos pelas diferentes fases do ciclo de vida dos veículos.

Tabela 5.5 – Resumo dos impactes provocados na categoria Depleção Abiótica (kg Sbeq) por fase do ciclo de vida.

	Produção	Utilização	Fim de vida
VE 2010	92,27	105,97	-42,82
VE 2009	92,27	146,07	-42,82
VEH	59,25	216,70	-31,61
VCI	35,67	330,68	-15,00

Da tabela anterior, verificamos que o VCI é o veículo com menos impactes na fase de produção e com menor recuperação dos impactes provocados na fase de fim de vida, mas é o veículo que mais impactes provoca na fase de utilização. O VE 2010 é o veículo que menos

impactes provoca na fase de utilização e juntamente com o VE 2009 o que mais recupera com o fim de vida, embora seja o que mais impactes provoca na fase de produção. O VEH encontra-se, em todas as fases, a um nível intermédio. Rapidamente se observa que a fase de utilização provoca significativamente mais impactes que a fase de produção.

### 5.3 Impactes Provocados pelas Baterias

De forma idêntica ao estudo dos impactes provocados pelos veículos, a ACV às baterias utiliza a mesma metodologia apresentada anteriormente, mas apenas serão analisadas as categorias com maior relevância. Como anteriormente observado na Figura 5.1, as categorias de impacto com maior relevância são a Depleção Abiótica, o Aquecimento Global e a Acidificação. Serão apresentados os impactes sobre as diferentes categorias de impacto para a produção e fim de vida das baterias. No caso das baterias de  $\text{LiFePO}_4$  existentes no VEB foram considerados dois cenários, um com uma taxa de reciclagem de 85% ( $\text{LiFePO}_4$  85%) e outro com uma taxa de reciclagem de 95% ( $\text{LiFePO}_4$  95%) que são as taxas de reciclagem teoricamente possíveis. No caso da bateria de NiMH foi utilizada uma taxa de reciclagem de 80% (NiMH 80%).

Para podermos comparar as baterias de uma forma mais realista, os resultados serão apresentados para a produção e fim de vida de 1kWh de capacidade de ambas as tecnologias. Como diferentes tecnologias têm diferentes densidades energéticas, será necessário 12,5kg de bateria da tecnologia  $\text{LiFePO}_4$  e 30,5kg de bateria da tecnologia NiMH para uma capacidade de 1kWh.

Neste subcapítulo serão analisados a produção do ânodo, que corresponde ao pólo negativo da bateria, o cátodo, que corresponde ao pólo positivo, os circuitos eléctricos dos módulos das baterias, o electrólito da bateria, a embalagem das células que forma cada módulo, o separador, os circuitos eléctricos do conjunto de bateria e a respectiva embalagem do conjunto, os processos, que correspondem ao consumo de energia eléctrica, energia para aquecimento, consumo de água, etc. O fim de vida corresponde aos impactes evitados com a reciclagem da bateria. No Anexo C encontra-se uma explicação do funcionamento de uma bateria.

Os impactes sobre a depleção Abiótica encontram-se na figura 5.8, com os resultados expressos em kg de Antimónio equivalente (kg Sbeq).

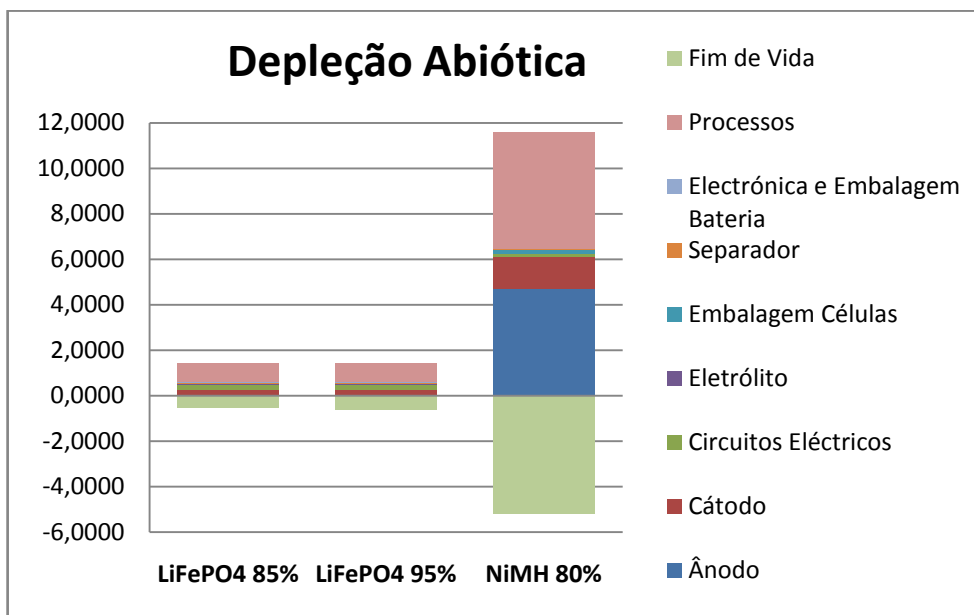


Figura 5.8 – Impactes provocados pelas baterias sobre a Depleção Abiótica.

Visto que os impactes provocados pela bateria de NiMH são muito superiores à bateria de LiFePO<sub>4</sub> para a capacidade de 1kWh, serão apenas apresentadas nas imagens seguintes os impactes provocados pela bateria de LiFePO<sub>4</sub>, mas continuarão a ser apresentados, na forma de texto, os impactes de todas as baterias. Na figura 5.9 são apresentados os mesmos impactes que na figura 5.8, mas sem a bateria de NiMH, de forma a ser possível visualizar os impactes da bateria LiFePO<sub>4</sub>.

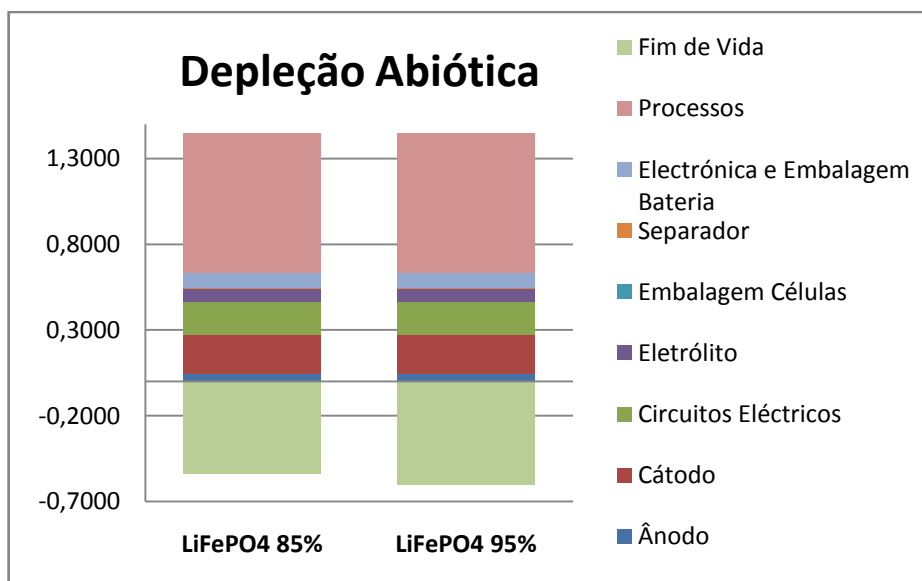


Figura 5.9 – Impactes provocados pelas baterias LiFePO<sub>4</sub> sobre a Depleção Abiótica.

Das duas figuras anteriores podemos observar que os impactes provocados pela bateria  $\text{LiFePO}_4$  na categoria Depleção Abiótica são principalmente devidos aos processos envolvidos na sua produção, representando 56% do total dos impactes provocados. A produção do cátodo vem em segundo, representando apenas 16% e os circuitos eléctricos em terceiro com 13%. Na bateria NiMH os maiores impactes continuam a ser provocados pelos processos, com 44%, mas muito perto encontram-se os impactes provocados pela produção do ânodo, com 40%. A bateria de NiMH, através da reciclagem de 80% dos seus materiais, consegue recuperar quase 48% dos impactes emitidos. No caso da bateria com o cenário de  $\text{LiFePO}_4$  95% é possível recuperar 41,5% do total emitido que é 4,4% a mais que a bateria  $\text{LiFePO}_4$  85% que recupera 37% do total emitido.

Comparando as baterias com 1kWh de capacidade entre si, verificamos que no final do ciclo de vida a bateria  $\text{LiFePO}_4$  95% emite aproximadamente 0,85kg de Sbeq e a  $\text{LiFePO}_4$  85% 0,9kg de Sbeq. Extrapolando para uma bateria de 24kWh, que é o caso do VEB em estudo, a diferença das taxas de reciclagem seria de 1,5kg de Sbeq, que é pouco significativo. Comparando a  $\text{LiFePO}_4$  85% com a NiMH 80%, que emite aproximadamente 6,4kg de Sbeq por kWh, já representa uma diferença muito significativa, pois é 7 vezes superior.

Para o caso da Acidificação podemos encontrar os resultados na figura 5.10 em kg de dióxido de enxofre equivalente (kg  $\text{SO}_2\text{eq}$ ).

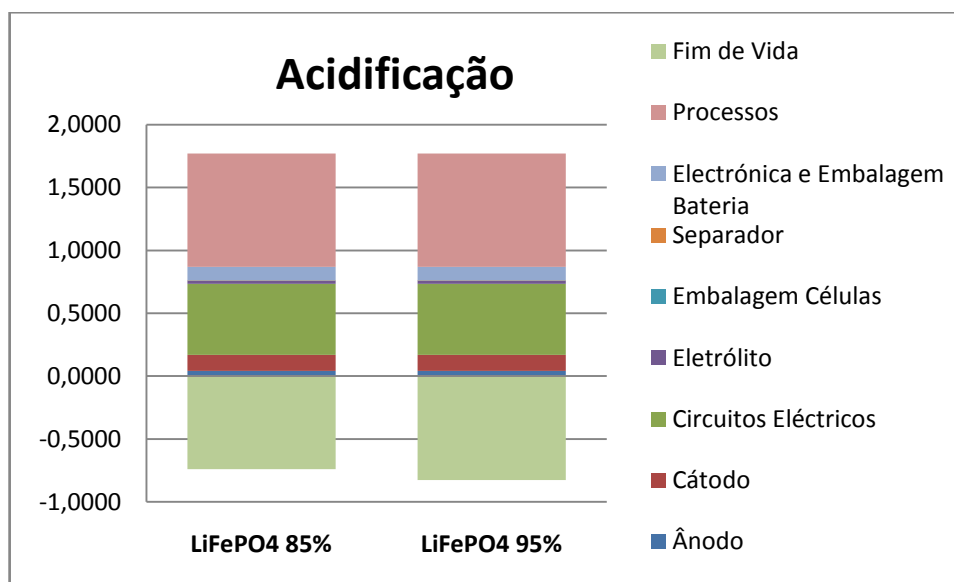


Figura 5.10 – Impactes provocados pelas baterias  $\text{LiFePO}_4$  sobre a Acidificação.

Aproximadamente 51% dos impactes provocados pela bateria LiFePO<sub>4</sub> na categoria Acidificação devem-se aos processos na fase de produção da bateria, seguidos pela produção dos circuitos eléctricos com 32%. No caso da bateria de NiMH os maiores impactes devem-se principalmente à produção do ânodo com mais de 66%, deixando para segundo os impactes provocados pelos processos representando 16% da totalidade. Com uma taxa de reciclagem de 80%, a bateria de NiMH consegue recuperar 70% dos impactes provocados nesta categoria. Já a LiFePO<sub>4</sub> 95% recupera quase 47% e a LiFePO<sub>4</sub> 85% recupera quase 42% do total emitido, sendo que a diferença entre os dois cenários é de aproximadamente 5%.

No final do ciclo de vida, a bateria LiFePO<sub>4</sub> 95% emite aproximadamente 0,9kg de SO<sub>2</sub>eq por kWh de capacidade da bateria, enquanto a bateria LiFePO<sub>4</sub> 85% emite 1kg de SO<sub>2</sub>eq. A diferença das taxas de reciclagem para uma bateria de 24kWh seria apenas de 2,1kg de SO<sub>2</sub>eq. Já a bateria NiMH 80% emite aproximadamente 11kg de SO<sub>2</sub>eq por kWh, que é mais de seis vezes superior comparando com a bateria LiFePO<sub>4</sub> 85%.

No Aquecimento Global o resultado dos impactes é apresentado na figura 5.11 que vêm expressos em kg de dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub>eq).

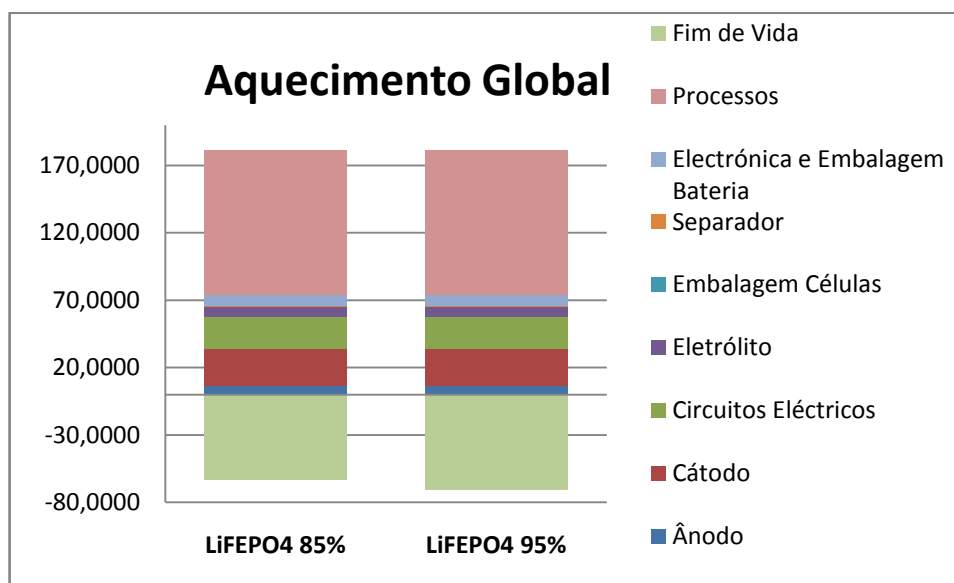


Figura 5.11 – Impactes provocados pelas baterias LiFePO<sub>4</sub> sobre o Aquecimento Global.

Nesta categoria os processos são os responsáveis pela maior parte das emissões, como 59% no caso da bateria de LiFePO<sub>4</sub> sendo que a produção do cátodo, que é o segundo maior responsável, tem 15% do peso das emissões. Com um peso de 46%, os processos envolvidos na produção da bateria de NiMH são os maiores responsáveis nas emissões nesta categoria, seguidos da produção do ânodo, com 35% e da produção do cátodo com quase 16%. As

baterias de  $\text{LiFePO}_4$ , com os cenários de 95% e 85%, conseguem recuperar através da reciclagem, 39% e 35% respectivamente, enquanto a bateria de NiMH consegue recuperar 43% do total provocado.

A bateria  $\text{LiFePO}_4$  95% no final do seu ciclo de vida emite aproximadamente 111kg de  $\text{CO}_2\text{eq}$  na produção de uma bateria com 1kWh de capacidade, enquanto a bateria  $\text{LiFePO}_4$  85% emite 118kg de  $\text{CO}_2\text{eq}$ . No caso de uma bateria de 24kWh a diferença de emissões seria de apenas 178kg de  $\text{CO}_2\text{eq}$ . A bateria de NiMH no final do seu ciclo de vida teria emitido 929kd de  $\text{CO}_2\text{eq}$  para uma bateria de 1kWh que corresponde a quase 8 vezes mais que uma bateria de  $\text{LiFePO}_4$ .

#### 5.4 Comparação dos Resultados com outros Estudos

Neste subcapítulo serão apresentadas comparações com outros estudos encontrados na bibliografia. De forma a podermos comparar os estudos, apresenta-se na tabela 5.6 os resultados para a categoria Aquecimento Global expressos em kg de dióxido de carbono equivalente (kg  $\text{CO}_2\text{eq}$ ). Apenas é estudada esta categoria porque é a que se encontra nos resultados da bibliografia estudada. São apresentados os resultados do presente estudo, sem contabilizar o fim de vida, de forma a poder comparar com os resultados de Notter et al. 2010, que apresenta resultados na categoria referida para um VEB genérico, ou seja, o VEB não é nenhum modelo em concreto como neste estudo onde o VEB foi baseado no Nissan Leaf, e um VCI baseado num Volkswagen Golf. São também comparados os resultados com Marques 2010, que apresenta resultados para o mesmo tipo de veículos referidos anteriormente. Como no estudo de Marques 2010 se encontram diversas gamas de veículos, foi considerada a gama semi-urbana como termo de comparação com os veículos estudados neste trabalho. Na tabela 5.7 são apresentados os mesmos resultados que na tabela 5.6, mas tendo em conta o fim de vida dos veículos, comparando os resultados com os de SEI 2007 que também contabiliza o fim de vida de VE e VCI genéricos.

Tabela 5.6 – Comparação dos resultados com outros estudos para a categoria Aquecimento Global.

Referências	Presente estudo		Notter	Marques
<b>VEB</b>	VE 2010	24100	24300	26861.5
	VE 2009	29360		
<b>VCI</b>	-	55271	37700	33869

Da tabela anterior verificamos que os resultados do VEB são muito semelhantes aos da literatura, já os do VCI encontram-se ligeiramente mais elevados. Esta discrepância deve-se principalmente ao tipo de processos utilizados, pois neste trabalho foi utilizado o processo designado por “*Operation, passenger car, petrol, fleet average/RER U*”, desenvolvido por Michael Spielmann, em 2007, enquanto nos outros trabalhos foram utilizados processos diferentes. Tal diferença pode dever-se também aos dados assumidos para a realização do estudo, principalmente na fase de consumo, como a média do consumo de gasolina em l/100km, entre outros.

Tabela 5.7 – Comparação dos resultados com outros estudos para a categoria Aquecimento Global (continuação).

Referências	Presente estudo		SEI
<b>VEB</b>	VE 2010	19086	18708
	VE 2009	24345	
<b>VCI</b>	-	53546	33215

Na tabela 5.7 os resultados do VEB são ligeiramente superiores aos da literatura, assim como os dados do VCI. Este facto pode dever-se à diferença de veículos estudados, pois em SEI 2010 foram utilizados veículos genéricos e neste trabalho foi baseado em modelos concretos, o que fez variar a massa dos veículos entre outros factores. De qualquer forma a diferença de valores do VCI é superior aos do VEB, o que deve estar relacionado com os mesmos factores encontrados na tabela 5.6.

## 6. CONCLUSÃO

Neste capítulo encontramos as conclusões chegadas com o estudo realizado, as limitações ao estudo encontradas durante a realização do trabalho e a qualidade dos dados utilizados. Por fim são apresentadas algumas sugestões para futuros trabalhos.

### 6.1 Síntese de Resultados

Com a actual crise económica torna-se mais visível a relevância que as importações têm na balança comercial portuguesa. O sector dos transportes tem um grande peso nestas importações visto que todo o petróleo consumido em Portugal tem origem estrangeira. Uma das soluções encontradas foi a utilização de veículos mais eficientes, que consumam menos combustível derivado do petróleo ou que utilizem energia destinada à locomoção que tenha origem em fontes que não sejam obrigatoriamente importadas. Esta é uma das maiores razões para que os países desenvolvidos, ou com rápido crescimento económico e dependentes energeticamente do estrangeiro estejam a introduzir no seu mercado automóvel os veículos eléctricos. O facto de estes veículos não terem emissões de tubo de escape como os veículos tradicionais, criou a ideia que seriam veículos limpos e não teriam emissões de poluentes. Tal associação, muito utilizada pela indústria automóvel, não é necessariamente verdadeira, como veremos mais à frente.

Dado que os VE, com o tempo, ganharão bastante significado, é necessário conhecer os seus impactes e compará-los com os restantes veículos. Este estudo teve o objectivo de dar a conhecer um pouco melhor os impactes que os VE possam vir a provocar, ou a evitar. Os impactes podem ser a vários níveis, desde ambientais, económicos e sociais, mas devido principalmente ao tempo disponível, apenas foi possível estudar os impactes ambientais.

De uma forma geral pode-se concluir que o VE provoca menos impactes a nível ambiental, comparando com os veículos tradicionais, desde que a produção de energia eléctrica seja proveniente de fontes de energias renováveis. Das categorias analisadas as que são mais afectadas pelo ciclo de vida dos veículos, por ordem decrescente, são a Depleção Abiótica, o Aquecimento Global e a Acidificação. Conclui-se que da mesma forma que os VCI, a fase que maiores impactes provoca no ciclo de vida dos VE é a fase de utilização, sendo quase sempre responsável por metade ou mais dos impactes provocados em todas as categorias, embora não tão elevada como no VCI.

Na fase de produção dos veículos conclui-se que os impactes na produção dos VE são sempre superiores aos provocados pela produção do VCI para todas as categorias. Dentro da fase de

---

produção dos VE verifica-se que os maiores impactes são provocados pela produção da bateria, tanto no VEB como no VEH. Esta conclusão deve-se também ao facto da massa total (incluindo bateria) dos VE estudados ser superior ao do VCI.

Na fase de utilização, a manutenção dos veículos tem uma importância muito pequena comparativamente ao consumo de combustível para todos os veículos estudados. No caso do VEB o consumo de energia eléctrica para a locomoção é dos factores mais preponderantes para os impactes no final do seu ciclo de vida e ao mesmo tempo é um factor extremamente instável. Mesmo utilizando sempre o mesmo tipo de fontes de energia, se essa energia for proveniente de um *mix* energético semelhante ao português, de um ano para o outro existe a possibilidade de os impactes provocados pelo mesmo veículo serem bastante diferentes devido à instabilidade da produção de energia eléctrica através de fontes renováveis. É possível concluir que existe a possibilidade de um VEB ter maiores impactes que um VCI, bastando que a produção da energia eléctrica para a locomoção seja principalmente proveniente de fontes não renováveis. De uma forma geral, em Portugal, os VEB provocam menores impactes pois já existem bastantes fontes de energia renovável e mesmo em anos em que as condições não sejam propícias à produção de energia renovável, apenas na categoria da Acidificação os VEB podem provocar maiores impactes que os outros veículos estudados, como seria no caso do ano de 2009.

No que respeita ao fim de vida, os VE conseguem recuperar significativamente mais dos impactes que provocaram, que o VCI, principalmente porque os VE em estudo têm maior massa, logo maior quantidade de material para reciclar. Para além de que as baterias têm uma capacidade de reciclagem igual ou superior a 80%.

Dentro do grupo dos VE estudados conclui-se que na maioria das categorias o VEB tem menores impactes que o VEH, voltando a depender principalmente das fontes de energia eléctrica utilizadas no VEB. O VE 2009 superou em todas as categorias o VE 2010, pois o ano de 2009 foi menos propício à produção de energia eléctrica de fontes renováveis que o ano de 2010. O VEH comparativamente ao VCI tem geralmente menores impactes, excepto na categoria da Acidificação e Depleção da Camada de Ozono, mas através da reciclagem no final do seu ciclo de vida consegue recuperar mais que o VCI provocando menores impactes mesmo nas categorias referidas.

Um factor que poderá ser importante nos impactes do ciclo de vida dos VE e que não entrou neste estudo por não existirem dados é a esperança média de vida dos VE. Neste estudo foi utilizado os 200000 km, mas visto que os VE são muito recentes, não existem dados concretos a esse respeito. Teoricamente os VE, como têm menos partes móveis, ou seja, menor desgaste das peças, deveriam ter uma esperança média de vida superior, o que iria

reduzir os impactes comparando com o VCI. Outro factor importante, que não foi considerado neste trabalho, é a possibilidade do carregamento das baterias ser feita principalmente no horário do vazio, que para além de ter custos inferiores, provavelmente terá menores impactes.

Com o estudo das baterias podemos concluir que as de  $\text{LiFePO}_4$ , para a mesma capacidade, têm, em praticamente todas as categorias, significativamente menos impactes que as baterias de NiMH, na ordem dos seis a sete vezes menos impactes. Este facto deve-se principalmente à diferença da massa que as baterias necessitam para armazenar a mesma quantidade de energia. Na produção das baterias de  $\text{LiFePO}_4$  aproximadamente metade dos impactes provocados devem-se, em todas as categorias, aos Processos e energia necessários para a produção das baterias. A produção do Cátodo e dos Circuitos Eléctricos são os segundos maiores responsáveis com 30% dos impactes provocados. No caso da bateria de NiMH os maiores impactes são provocados pela produção do Ânodo e pelos Processos utilizados. Os dois cenários estudados no fim de vida da bateria de  $\text{LiFePO}_4$  indicam que a diferença de 10% na reciclagem da bateria não é significativa no total dos impactes do seu ciclo de vida, mas que a reciclagem é muito importante pois consegue reduzir entre 35% e 50%, dependendo da categoria. A bateria de NiMH tem um potencial superior à de  $\text{LiFePO}_4$  para recuperar os impactes provocados, na ordem dos 40% a 65%, dependendo da categoria.

## 6.2 Limitações ao Estudo e Qualidade dos Dados

Como na maioria dos estudos, é necessário ter em conta a qualidade dos resultados apresentados, pois os dados recolhidos podem já conter alguns erros. De uma forma geral, existe uma grande falta de informação na literatura sobre os materiais e os processos de produção utilizados na construção de veículos. A precisão dos dados recolhidos para a realização da ACV do VCI pode já conter alguns erros, mas na fase de produção, é satisfatória visto se encontrar bastante detalhada. Já a precisão dos dados dos VE é questionável por terem sido obtidos através da aproximação descrita no capítulo quatro. De forma semelhante foi feita uma aproximação para a quantidade de materiais utilizados no conjunto de bateria. Os dados usados na fase de utilização dos veículos são valores fornecidos pelos comerciantes e estão sujeitos a grandes incertezas. Da mesma forma, os valores das taxas de reciclagem não são exactos pois referem-se ao veículo no geral e não aos materiais individualmente. Por estes motivos, a maior dificuldade encontrada neste trabalho foi a aquisição de dados precisos, com maior incidência nos dados relativos aos VE e respectivas baterias.

## 6.3 Trabalhos Futuros

Durante a realização deste trabalho não foi possível encontrar muitos estudos relativos ao VE contendo dados precisos e utilizando as tecnologias mais recentes, principalmente nas baterias. Notou-se também uma grande falta de estudos sobre o fim de vida dos veículos e das

suas baterias. Actualmente existem diversas tecnologias de baterias, mesmo dentro das baterias de lítio existem diferentes combinações, cada uma com as suas vantagens e desvantagens. Seria interessante um estudo comparativo das diversas tecnologias. Neste trabalho não foram estudados veículos VPEH que deverão entrar no mercado nos próximos anos e que poderão vir a ser muito bem acolhidos devido à sua extensão de autonomia. São muito raros os estudos relativos aos impactes económicos e sociais provocados pela introdução dos VE no mercado e são de extrema importância para prever o futuro do mercado automóvel. Seria muito interessante um estudo sobre os impactes sobre o ambiente que os VE teriam em diversos países do mundo com as diferentes fontes de energia de cada país. Em Portugal existem mais VE de duas rodas do que de quatro. Seria importante um estudo sobre os impactes que esses veículos provocam, até porque esses veículos de duas rodas são muito utilizados nos países com grande desenvolvimento.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amirault, J., Chien, J., Garg, S., Gibbons, D., Ross, B., Tang, M., Xing J., Sidhu, I., Kaminsky, P., Tenderich, B. (2009). “The Electric Vehicle Battery Landscape: Opportunities and Challenges”. Center for Entrepreneurship & Technology, University of California, Berkeley.
- Bloking, J. T. (2003). “Doped LiFePO<sub>4</sub> Cathodes for High Power Density Lithium Ion Batteries”. Degree of Master os Science in Materials Science and Engineering, Department of Materials Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- Brady, J., O’Mahony, M. (2011). “Travel to work in Dublin. The potential impacts of electric vehicles on climate change and urban air quality”. Transportation Research Part D, pp. 188-193.
- Clement-Nyns, K., Haesen, E., Driesen, J., (2011). “The Impact of vehicle-to-grid on the distribution grid”. Electric Power Systems Research 81, pp. 185–192.
- Cuenca, R. M., Gaines, L.L., Vyas, A.D. (1999) “Evaluation of Electric Vehicle Production and Operating Costs”. Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, Illinois.
- Dewulf, J., Vorst, G., Denturck, K., Langenhove, H., Ghyoot, W., Tytgat, J., Vandeputte, K. (2010). “Recycling rechargeable lithium ion batteries: Critical analysis of natural resource savings”. Resources, Conservation and Recycling 54, pp. 229–234.
- Duvall, M. (2002), “Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options for Compact Sedan and Sport Utility Vehicles”. Technical Report, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California.
- Feeney, B. P., Cardebring, P. (1988). “Car Longevity in Sweden: A Revised Estimate”. Transm. Res.-A. 22A. No. 6. pp. 455-465.
- Ford, A. (1995). “The impacts of large scale use of electric vehicles in southern California”. Energy and Buildings 22, pp. 207-218.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Hischer, R., Hellweg, S., Humbert, S., Köllner, T., Loerincik, Y., Margni, M., Nemecek, T. (2007). “Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods” Ecoinvent Report No. 3, A Joint Initiative of the ETH domain and Swiss Federal Offices, Dübendorf.
- Gaines, L., Cuenca, R. (2000) "Costs of Lithium-Ion Batteries for Vehicles". Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, University of Chicago, Illinois.
- Gomes, L. (2010). "O Veículo Eléctrico e a sua Integração no Sistema Eléctrico". Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

- Granovskii, M., Dincer, I., Rosen, M. A. (2006), "Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles", *Journal of Power Sources* 159, pp. 1186–1193.
- Habermacher, F. (2011). "Modeling Material Inventories and Environmental Impacts of Electric Passenger Cars". Master Thesis, Department of Environmental Sciences, ETH Zurich.
- Hamilton, B. W., Macauley, M. K. (1998). "Competition and Car Longevity". *Resources for the Future*.
- Henstock, M. E. (1988). "The Impacts of Materials Substitution on the Recyclability of Automobiles". *Resources, Conservation and Recycling*, 2, pp. 69-85.
- Jansen, K. H., Brown, T. M., Samuelsen, G. S. (2010), "Emissions impacts of plug-in hybrid electric vehicle deployment on the U.S. western grid", *Journal of Power Sources* 195, pp. 5409–5416.
- Le Guern, Y., Chanoine, A., Witte, F. (2011). "Comparative Life-Cycle Assessment of Nickel-Cadmium (NiCd) Batteries Used in Cordless Power Tools (CPTs) VS. Their Alternatives Nickel-Metal Hydride (NiMH) and Lithium-ion (Li-ION) Batteries". Preliminary Results. Bio Intelligence Service. França.
- MacLean, H. L., Lave, L. B. (2003). "Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies". *Progress in Energy and Combustion Science* 29, pp. 1–69.
- Marques, P. (2010). "Avaliação comparativa de Ciclo de Vida de automóveis: Eléctrico, Plug-in Eléctrico Híbrido e Convencional". Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2002). "Abiotic resource depletion in LCA". Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat.
- Muller, T., Friedrich, B. (2006). "Development of a recycling process for nickel-metal hydride batteries". *Journal of Power Sources* 158, pp. 1498–1509.
- Nansai, K., Tohno, S., Kono, M., Kasahara, M. (2002). "Effects of electric vehicles (EV) on environmental loads with consideration of regional differences of electric power generation and charging characteristic of EV users in Japan", *Applied Energy* 71, pp. 111-125.
- Nishimura, K., Hondo, H., Uchiyama, Y. (2001). "Comparative analysis of embodied liabilities using an inter-industrial process model: gasoline- vs. electro-powered vehicles". *Applied Energy*, pp. 307–320.
- Notter, D. A., Gauch, M., Widmer, R., Wager, P., Stamp, A., Zah, Althaus, R., H. J. (2010). "Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles". *Environmental science & technology* 44, pp. 6550–6556.
- Peterson, S. B., Apt, J., Whitacre, J.F. (2010). "Lithium-ion battery cell degradation resulting from realistic vehicle and vehicle-to-grid utilization". *Journal of Power Sources* 195, pp. 2385-2392.
- REN (2009). "Dados Técnicos Electricidade 2009". *Redes Energéticas Nacionais*.

- REN (2010). “Dados Técnicos Electricidade 2010”. Redes Energéticas Nacionais.
- Santos, P. (2009). “O Automóvel Híbrido como Elemento Fornecedor/Consumidor de Electricidade”. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Spielmann, M., Althaus, H. (2007). “Can a prolonged use of a passenger car reduce environmental burdens? Life Cycle analysis of Swiss passenger cars”. *Journal of Cleaner Production* 15, pp. 1122-1134.
- Spielmann, M., Bauer, C., Dones, R., Tuchschnid, M. (2007). "Transport Services". Ecoinvent Report No. 14, A Joint Initiative of the ETH domain and Swiss Federal Offices, Villigen e Uster.
- Sustainable Energy Ireland.(2007)"Hybrid Electric and Battery Electric Vehicles - Technology, Costs and Benefits". Ireland.
- Thomas, C. S. (2011). “How green are electric vehicles?”. *International journal of hydrogen energy* xxx, pp. 1-10.
- Toprakci, O., Toprakci, H. K., Ji, L., Zhang, X. (2010). "Fabrication and Electrochemical Characteristics of LiFePO<sub>4</sub> Powders for Lithium-Ion Batteries". *KONA Powder and Particle Journal* No.28, pp. 50-73.
- Uebermasser, S., Sims, R. E. H. (2010). “A feasibility study of alternative drive- train technologies”. Palmerston North City Council Library.
- Wang, J., Liu, C., Ton, D., Zhou, Y., Kim, J., Vyas, A. (2010). “Impact of plug-in hybrid electric vehicles on power systems with demand response and wind power”. *Energy Policy*.
- Zackrisson, M. Avellán, L., Orlenius, J. (2010). ”Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles - Critical issues”. *Journal of Cleaner Production* 18, pp. 1519-1529.
- Finland’s environmental administration website. <http://www.ymparisto.fi>, consultado em 2011.
- Institute of Environmental Sciences (CML) Faculty of Science, Universiteit Leiden, Leiden. <http://www.cml.leiden.edu>, consultado em 2011.
- Section Européenne Scientifique, Diplômes de l'Université de Cambridge. <http://europe.epid.fr>, consultado em 2011.
- Site oficial, Toyota. <http://toyota.pt>, consultado em 2011.
- Site oficial, Nissan. <http://nissan.pt>, consultado em 2011.
- Site oficial, Volkswagen. <http://volkswagen.pt>, consultado em 2011.
- Toxic Substances Hydrology Program, science for a changing world website. <http://toxics.usgs.gov>, consultado em 2011.

## A) ANEXO A

Tabela A.1 – Processos, massas e percentagens do VCI e do VEH utilizados na ACV.

	<b>Nome no Ecoinvent</b>	<b>Golf</b>	<b>%</b>	<b>Prius</b>	<b>%</b>	<b>Unidades</b>
<b>Tecnosfera</b>	steel, low-alloyed, at plant	129,5	65,1	128,8	57,2	Kg
	sheet rolling, steel, at plant	707,8		703,9		Kg
	nickel, 99,5%, at plant	1,7	4,9	5,3	13,8	Kg
	aluminium, production mix, at plant	61,7		195,9		Kg
	polyethylene, HDPE, granulate	97,3	12,4	101,4	11,4	Kg
	polypropylene, granulate, at plant	46,8		48,7		Kg
	polyvinylchloride, at regional storage	15,3		15,9		Kg
	synthetic rubber, at plant	65,1	5,1	38,0	2,6	Kg
	flat glass, uncoated, at plant	40,7	3,2	42,5	2,9	Kg
	alkyd paint, white, 60% in solvent	3,7	0,3	4,3	0,3	Kg
	zinc for coating, at regional storage	6,2	3,2	8,3	3,8	Kg
	wire drawing, copper	10,6		14,3		Kg
	copper, at regional storage	10,6		14,3		Kg
	lead, at regional storage	13,7		18,3		Kg
	platinum, at regional storage	0,0028	3,6	0,0011	1,2	Kg
	palladium, at regional storage	0,0005		0,0002		Kg
	chromium, at regional storage	4,2		1,6		Kg
	ethylene, average, at plant	32,1		12,2		Kg
	ethylene glycol, at plant	8,3		3,2		Kg
	sulphuric acid, liquid, at plant	1,4	0,5	Kg		
Lubricating oil, at plant	40,6	3,2	37,2	2,6	Kg	
Componentes eléctricos	29,7	2,3	97,5	6,7	kg	
Tap water, at user	3514,2		3974,9		Kg	

Tabela A.2 – Processos, massas e percentagens do VCI e do VEH utilizados na ACV  
(continuação).

	<b>Nome no Ecoinvent</b>	<b>Golf</b>	<b>%</b>	<b>Prius</b>	<b>%</b>	<b>Unidades</b>
<b>Tecnosfera</b>	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW	2702,7		2852,0		MJ
	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid	2605,3		2749,3		kWh
	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	76,8		81,1		MJ
	Transport, lorry >16t	53		53		tkm
	Transport, freight, rail	530		530		tkm
	Road vehicle plant	2,911E-07		2,911E-07		p
<b>Emissões para o ar</b>	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	5,8		6,2		kg
	Heat, waste	9374,6		9892,6		Mj
<b>Emissões para a água</b>	COD, Chemical Oxygen Demand	0,2350		0,2480		Kg
	BOD5, Biological Oxygen Demand	0,0317		0,0334		Kg
	Phosphate	0,0012		0,0013		Kg

## B) ANEXO B

### Características Técnicas dos Diferentes tipos de Veículos Eléctricos

Os Veículos Eléctricos Híbridos dispõem de dois motores propulsores, um tradicional a combustão interna e outro eléctrico (figura B.1). As baterias destes veículos são recarregadas apenas com a travagem regenerativa, que consiste na transformação da energia cinética do veículo em energia eléctrica que é armazenada nas baterias, sendo depois essa energia utilizada pelo motor eléctrico em diferentes situações. Dependendo do modelo do veículo, uns utilizam a propulsão eléctrica exclusivamente em simultâneo com o motor tradicional enquanto outros poderão utilizar apenas a propulsão eléctrica a velocidades muito reduzidas, onde o motor a combustão tem uma eficiência menor. A distância percorrida com propulsão apenas eléctrica dependerá principalmente da energia máxima que a bateria instalada no veículo consegue armazenar.

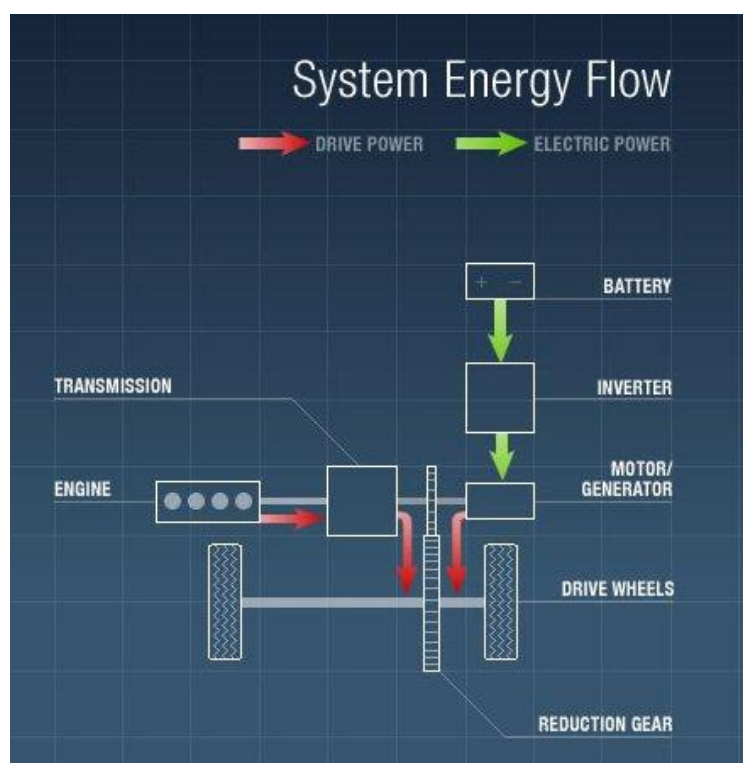


Figura B.1 – Esquema de um VEH (europe.epid.fr).

No caso dos Veículos Plug-in Eléctricos Híbridos existem dois sistemas muito distintos, um deles é semelhante ao VEH, alterando apenas o facto de ser possível o recarregamento das baterias de duas formas, através da travagem regenerativa e recorrendo a uma fonte externa. O segundo sistema é constituído por um motor eléctrico propulsor e um motor de combustão interna gerador (figura B.2). Ou seja, é possível carregar as baterias através da travagem regenerativa, de uma fonte externa ou com o motor gerador tradicional a bordo do veículo. No caso de o gerador suprimir todas as necessidades energéticas do motor eléctrico a distância percorrida depende principalmente da capacidade do depósito de combustível.

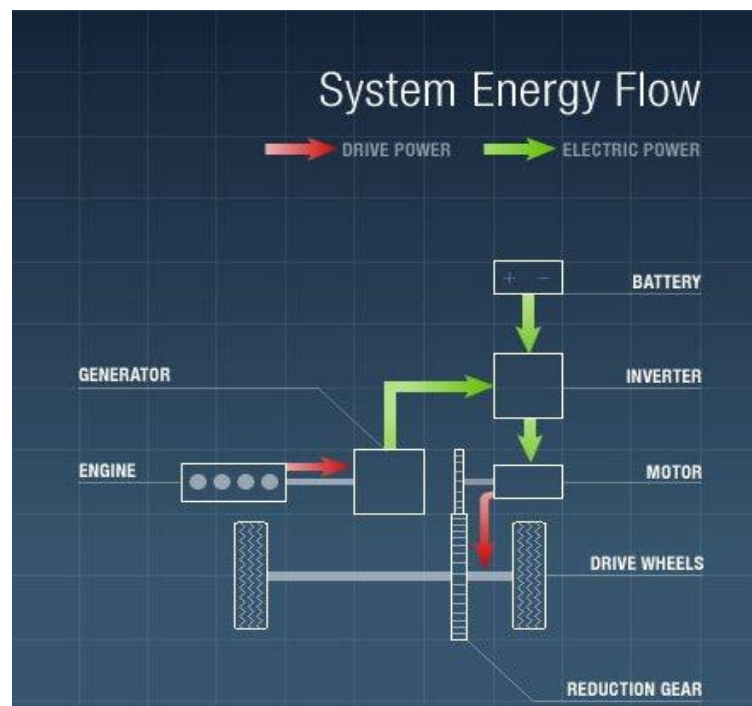


Figura B.2 – Esquema de um VPEH (europe.epid.fr).

Os Veículos Eléctricos a Bateria são os chamados veículos 100% eléctricos, onde apenas existe um motor eléctrico (figura B.3), sendo que as formas de recarregamento das baterias poderão ser a travagem regenerativa e uma fonte externa. A distância máxima percorrida pelo VEB depende principalmente da capacidade de armazenamento de energia da bateria que possui.

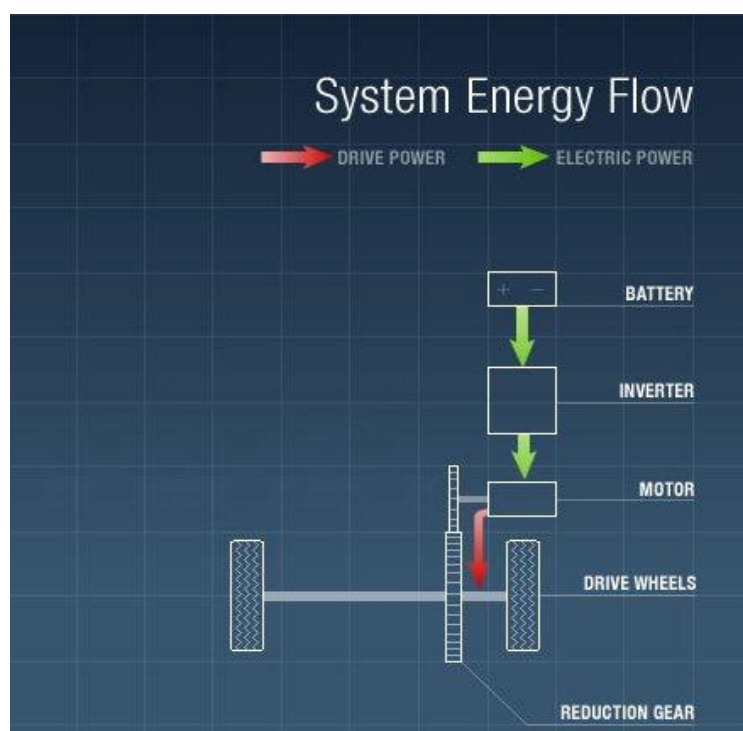


Figura B.3 – Esquema de um VEB (europe.epid.fr).

## C) ANEXO C

### Funcionamento da Bateria de Lítio

Uma bateria de lítio é constituída por um cátodo (eléctrodo positivo), ânodo (eléctrodo negativo), electrólito e um separador entre os dois pólos. Durante a carga a corrente é transferida pelos iões de lítio do cátodo para o ânodo através do electrólito como podemos observar na figura C.1. Na fase de descarga ocorre o inverso, ou seja, os iões de lítio passam do ânodo para o cátodo (figura C.2). Durante estas reacções os electrões fluem no mesmo sentido que os iões de lítio. Os materiais mais utilizados no ânodo são o carvão, ligas metálicas de lítio e grafite, enquanto no cátodo podem variar bastante, mas o material utilizado neste estudo foi o  $\text{LiFePO}_4$  descoberto por Goodenough em 1997.

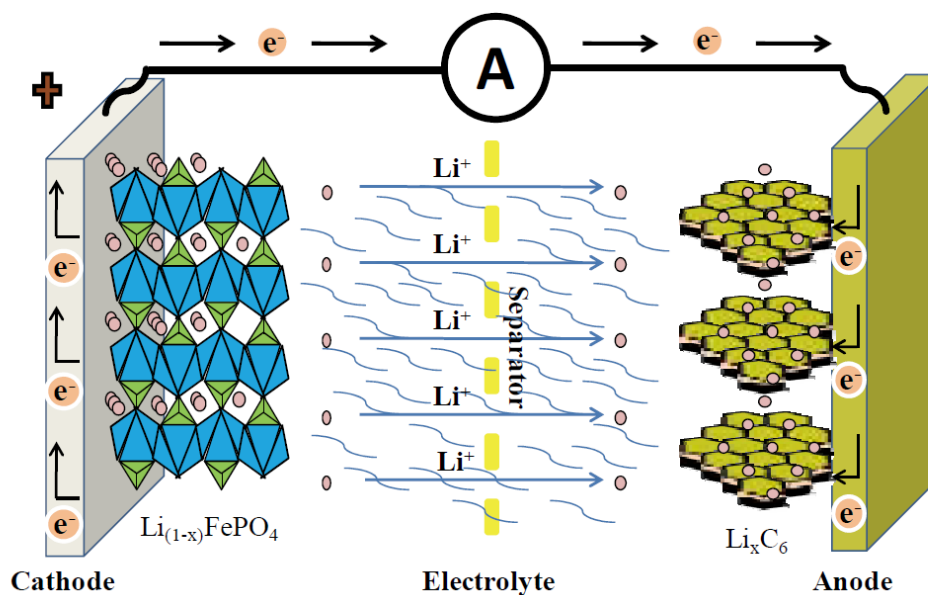


Figura C.1 – Processo de carga (Ozan Toprakci et al. 2010).

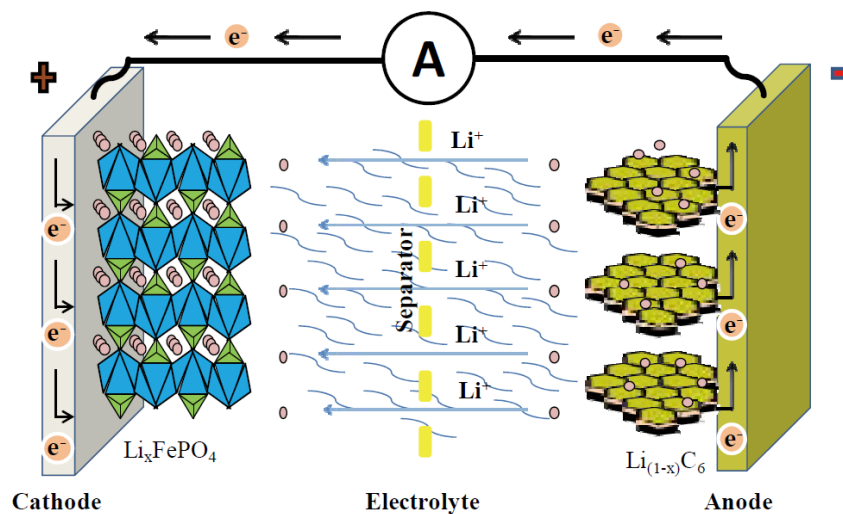


Figura C.2 – Processo de descarga (Ozan Toprakci et al. 2010).

Para os VE é necessário um conjunto de baterias que armazenem uma maior quantidade de energia, o que vai afectar o design da bateria. Os formatos mais comuns utilizados nos VE são as baterias cilíndricas (figura C.3) e as baterias laminadas, que são as utilizadas no VEB estudado.

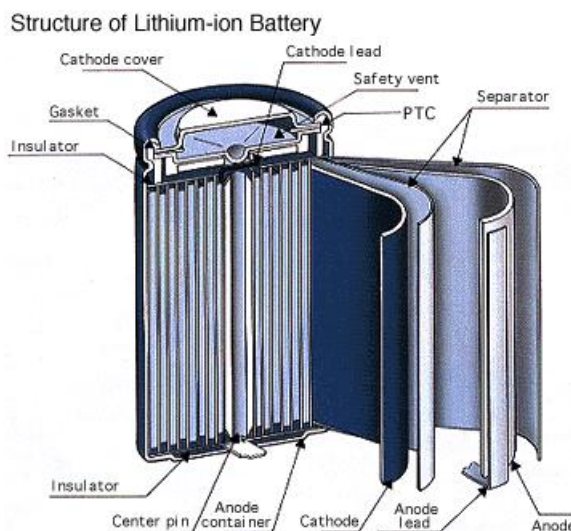


Figura C.3 – Bateria cilíndrica (Gaines L. et al. 2000).

A energia armazenada na bateria tem a mesma função que a gasolina armazenada num tanque de combustível. É possível armazenar qualquer quantidade de energia, bastando para isso aumentar o número de células num conjunto de bateria, mas isso traz também desvantagens como o aumento do tamanho e do peso.

**D) ANEXO D**

Tabela D.1 – Tradução dos processos.

<b>Nome no Ecoinvent</b>	<b>Nome em Português</b>
alkyd paint, white, 60% in solvent	Pintura alquídica, branca, 60% em solvente, na fábrica
aluminium, production mix, at plant	Alumínio, produção mista, na fábrica
BOD5, Biological Oxygen Demand	CBO5, carência bioquímica de oxigénio
boron carbide, at plant	Carboneto de boro, na fábrica
cable, three-conductor cable, at plant	Cabo de três condutores, na fábrica
Carbon black, at plant	Fuligem, na fábrica
chromium, at regional storage	Crómio, armazenamento regional
COD, Chemical Oxygen Demand	CQO, carência química de oxigénio
Componentes eléctricos	Componentes eléctricos
copper, at regional storage	Cobre, armazenamento regional
Diammonium phosphate, as N, at regional store house	Fosfato de diamónio, como N, armazenamento regional
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid	Electricidade, media voltagem, produção UCTE, na rede
ethylene, average, at plant	Etileno, médio, na fábrica
ethylene glycol, at plant	Etileno glicol, na fábrica
Ethylene glycol diethyl ether, at plant	Etileno glicol éter etílico, na fábrica
ferrite, at plant	Ferrite, na fábrica
flat glass, uncoated, at plant	Vidro plano, sem revestimento, na fábrica
Graphite, at plant	Grafite, na fábrica
Heat, natural gas, at industrial furnace >100Kw	Aquecimento, gás natural, em forno industrial >100kW
Heat, waste	Calor, desperdiçado
lead, at regional storage	Chumbo, armazenamento regional
light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	Óleo combustível leve, queimados em fornos industriais 1MW, não-modular
Lithium carbonate, at plant	Carbonato de Lítio, na fábrica
Lithium chloride, at plant	Cloreto de lítio, na fábrica
Lubricating oil, at plant	Óleo de lubrificação, na fábrica
neodymium oxide, at plant	Óxido de neodímio, na fábrica

Tabela D.2 – Tradução dos processos (continuação).

<b>Nome no Ecoinvent</b>	<b>Nome em Português</b>
nickel, 99,5%, at plant	Níquel, 99,5%, na fábrica
NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	COVNM, compostos orgânicos voláteis não-metano, de origem não especificada
palladium, at regional storage	Paládio, armazenamento regional
Phosphate	Fosfatos
platinum, at regional storage	Platina, armazenamento regional
polyethylene, HDPE, granulate	Polietileno, PEAD, granulado, na fábrica
polypropylene, granulate, at plant	Polipropileno, granulado, na fábrica
polyvinylchloride, at regional storage	Policloreto de vinil, armazenamento regional
Polyvinylfluoride film, at plant	Filme de polivinil flúor, na fábrica
Printed wiring board, mixed mounted, unspec., solder mix, at plant	Placa de circuito impresso, mistura, misturas de solda, na fábrica
reinforcing steel, at plant	Aço reforçado, na fábrica
Resistor, unspecified, at plant	Resistor, não especificado, na fábrica
Road vehicle plant	Fábrica do veículo
Sheet rolling, aluminium	Folha de rolamento, alumínio
Sheet rolling, copper	Folha de rolamento, cobre
sheet rolling, steel, at plant	Folha de rolamento, aço, na fábrica
steel, low-alloyed, at plant	Aço, baixa-liga, na fábrica
sulphuric acid, liquid, at plant	Ácido sulfúrico, líquido, na fábrica
synthetic rubber, at plant	Borracha sintética, na fábrica
Tap water, at user	Água de torneira, utilizador
Transistor, unspecified, at plant	Transistos, não especificado, na fábrica
Transport, freight, rail	Transporte, comboio
Transport, lorry >16t	Transporte, camião >16t
wire drawing, copper	Terfilagem, cobre
zinc for coating, at regional storage	Zinco para revestimento, armazenamento regional

## E) ANEXO E

### Exemplo de cálculo de um valor e respectivo tratamento no *SimaPro*

De forma a exemplificar ao detalhe a metodologia de cálculo, o tratamento dos dados e o seu processamento no *SimaPro*, é apresentado de seguida a explicação do cálculo para o primeiro valor apresentado (*steel, low-alloyed, at plant*) no cálculo dos impactes provocados pela produção do VEB.

O primeiro passo consiste em encontrar uma média das percentagens de cada tipo de material utilizados na produção de um veículo, através de dados retirados da bibliografia apresentada no capítulo quatro. Essas percentagens são apresentadas na tabela 4.2, juntamente com os valores atribuídos aos modelos de veículos estudados, tendo em conta a sua tara (com excepção das baterias). Com estes valores e utilizando o processo designado por “*passenger car/p/RER/T*”, desenvolvido por Spielmann (2007), que reúne os vários processos da produção de um veículo, foi modificado de forma a se adaptar ao veículo em causa.

Os dados do Aço e Ferro da tabela 4.2, que corresponde a 697,6 kg, ou seja, a 57,1% do VEB, foram divididos pelos processos que existiam em “*passenger car/p/RER/T*” que correspondiam ao Aço e Ferro, ou seja, foram divididos, neste caso em “*steel, low-alloyed, at plant*” e em “*sheet rolling, steel, at plant*”, respeitando os pesos que cada processo tinha dentro do trabalho desenvolvido por Spielmann (2007). Esses valores correspondem, aproximadamente, a 15,5% de “*steel, low-alloyed, at plant*” e 84,5% de “*sheet rolling, steel, at plant*”, resultando nos dados apresentados na tabela 4.3.

Depois de todos os dados calculados através da forma anteriormente mencionada, foi criado um novo processo, denominado “*Passenger car/RER/I U VE*”, e introduzidos os dados da tabela 4.3 utilizando o software *SimaPro*, como apresentado na figura E.1.

**Produtos**

Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos

Nome	Quantidade	Unidade	Grandeza	Imputação	% Categoria	Comentário
Passenger car/RER/I U VE	1	p	Amount	100 %	Road/Operations\Inf... Carro	Europe

Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos evitados

(Insira linha aqui)

**Entradas**

Entradas conhecidas da natureza (recursos)

(Insira linha aqui)

Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)

Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^1:Min	Máx	Comentário
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	107,9119	kg	Sessão normal	1,2		LCI
Sheet rolling, steel/RER U	589,7005	kg	Sessão normal	1,2		LCI
Wire drawing, copper/RER U	17,4378	kg	Sessão normal	1,2		LCI
Copper, at regional storage/RER U	17,4378	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Chromium, at regional storage/RER U	1,7226	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	1,9859	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Aluminium, production mix, at plant/RER U	73,4774	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	92,9174	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Polypropylene, granulate, at plant/RER U	44,6368	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	14,5753	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Synthetic rubber, at plant/RER U	84,6846	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Flat glass, uncoated, at plant/RER U	40,8054	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Alkyd paint, white, 60% in solvent, at plant/RER U	4,1429	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Platinum, at regional storage/RER U	0,0011	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCA database
Palladium, at regional storage/RER U	0,0002	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCA database
Zinc, primary, at regional storage/RER U	10,1692	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCA database
Lead, at regional storage/RER U	22,4446	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Ethylene, average, at plant/RER U	13,2784	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Ethylene glycol, at plant/RER U	3,4452	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle
Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U	0,5742	kg	Sessão normal	1,24		(1,4,1,3,1,1); LCI of one vehicle

Figura E.1 – Processo de produção do VEB (*SimaPro*).

Na figura anterior podemos observar alguns dos processos utilizados na produção do VEB e respectivas quantidades. Depois de todos os dados terem sido introduzidos, executamos a ferramenta “Analisar” do programa, que depois de seleccionado o método pretendido (figura E.2), realiza os cálculos necessários para determinar os impactes provocados pela produção do VEB. Na figura E.3 podem ser observados alguns dos resultados obtidos com o programa.

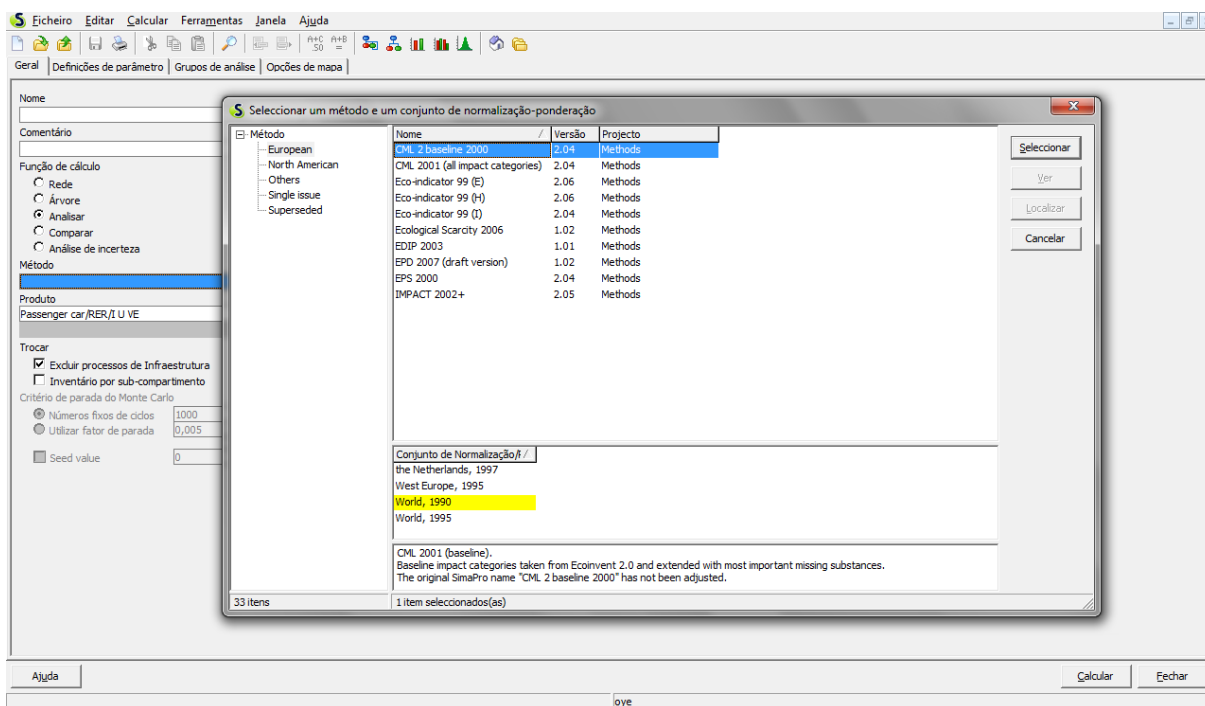


Figura E.2 – Escolha do método (SimaPro).

The screenshot shows the 'Normalização' results table in SimaPro. The table has columns for 'Categoria de impacto', 'Unidade', 'Total', 'Passenger car /RER/I U VE', and several specific impact categories. The 'Passenger car /RER/I U VE' column is highlighted in yellow.

Categoria de impacto	Unidade	Total	Passenger car /RER/I U VE	Steel, low-alloyed, at plant/RER U	Sheet rolling, steel/RER U	Wire drawing, copper/RER U	Copper, at regional storage/RER U	Chromium, at regional	Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	Aluminium, production mix, at	Polyeth HDPE, g
Abiotic depletion		2,16E-10	0	1,01E-11	1,09E-11	1,73E-12	1,45E-12	2,04E-12	7,11E-13	2,21E-11	1,95E-1
Acidification		9,47E-11	0	2,33E-12	2,4E-12	7,88E-13	7,46E-12	5,2E-13	1,04E-11	8,5E-12	1,87E-1
Eutrophication		1,47E-11	4,28E-14	1,04E-12	8,12E-13	8,72E-14	5,23E-13	9,43E-14	1,88E-13	1,8E-12	3,61E-1
Global warming (GWP100)		9,06E-11	0	4,21E-12	4,67E-12	8,43E-13	6,84E-13	1,01E-12	4,6E-13	1,39E-11	4,05E-1
Ozone layer depletion (ODP)		2,41E-13	0	6,2E-15	1,1E-14	1,63E-15	1,94E-15	2,72E-15	1,29E-15	3,14E-14	1,03E-1
Human toxicity		1,36E-10	0	6,66E-12	8,8E-13	1,1E-12	2,56E-11	2,82E-12	1,39E-12	4,53E-11	1,12E-1
Fresh water aquatic ecotox.		5,39E-10	0	7,62E-11	8,51E-11	2,18E-12	2,03E-11	4,12E-12	2,82E-11	1,34E-10	1,08E-1
Marine aquatic ecotoxicity		1,73E-9	0	1,81E-10	1,34E-10	1,17E-11	9,68E-11	1,42E-11	8,44E-11	4,24E-10	2,36E-1
Terrestrial ecotoxicity		9,88E-11	0	1,24E-11	1,91E-12	1,33E-12	2,4E-11	6,73E-13	1,77E-12	3,43E-12	3,95E-1
Photochemical oxidation		1,57E-11	0	8,99E-13	7,11E-13	9,56E-14	8,61E-13	8,74E-14	1,28E-12	2,25E-12	5,51E-1

Figura E.3 – Resultados da Análise (SimaPro).