

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

# Soluções avançadas de controlo do processo de carga de EVs

João Carlos da Silva Vieira Valente



Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientador interno: Prof. Eng. Carlos Ramos

Orientador externo: Eng. Vítor Ferreira

24 de Fevereiro de 2017



# **Soluções avançadas de controlo do processo de carga de EVs**

**João Carlos da Silva Vieira Valente**

Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores



# Resumo

Em inícios do séc. XIX (1828) começaram a ser projetados os primeiros motores elétricos mas foi só em 1835 que surgiram os primeiros veículos elétricos (EVs). Acreditava-se então que estes iriam acabar por revolucionar o paradigma da mobilidade terrestre. Ao início, tinha-se pensado que o seu desenvolvimento ia ser algo com fundamento e com uma enorme expansão no mercado mas tal não se sucedeu devido ao facto não só das dificuldades encontradas tanto a nível da construção, armazenamento e conversão de energia bem como na autonomia (que tem sido uma variável bastante condicionante mesmo nos tempos que correm). Porém, outra grande contrariedade, e talvez a maior de todas, no que diz respeito à temática dos EVs foi o surgimento de veículos cuja arquitetura se baseava em motores de combustão interna (ICE) ao invés da anteriormente referida propulsão elétrica. Com o aparecimento dos veículos equipados com ICE, o futuro dos EVs deixou de ser tão promissor e o seu desenvolvimento não se deu tal como era esperado inicialmente, isto se devia a estes possuírem uma maior autonomia e segurança comparativamente aos EVs.

Em contrapartida e com o passar dos anos, começou a haver um aumento exponencial dos preços dos combustíveis fósseis e uma maior preocupação relativamente a todas as implicações ambientais inerentes à utilização dos mesmos, o que levou a uma obrigação por parte do mercado automóvel em encontrar diversas soluções que permitissem às marcas combaterem esta tendência, levando assim novamente a uma enorme aposta no mercado dos veículos de propulsão elétrica, sendo estes cada vez mais uma alternativa altamente viável.

O enorme avanço na área da eletrónica de potência permitiu deste modo aos EVs interagirem com a rede elétrica, através da troca de recursos de baixa potência entre os diferentes intervenientes, ou seja, surgia também a possibilidade dos EVs injetarem energia na rede ao invés de só receberem energia por parte da mesma. Com isto, surge assim o conceito de *Vehicle-to-Grid* (V2G) e de *Grid-to-Vehicle* (G2V), que é a base desta dissertação. Isto permite concluir que, do ponto de vista da rede elétrica, os EVs passam a ter um papel de armazenamento, mesmo que de baixa capacidade, de energia, podendo estes, de alguma forma, quando em conjunto, ser usados como fonte de armazenamento considerável e possibilitarem uma uniformização do diagrama de cargas da rede quando esta tiver tal necessidade. Para este acontecimento ser possível é deste modo necessário que exista bidirecionalidade no conjunto EV-Rede Elétrica.

O documento dá uma breve explicação do conceito de bidirecionalidade e como esta é incorporada no sistema de carregamento (sistema desenhado com base na norma IEC 61851) e quais os conversores AC/DC e DC/DC usados para possibilitarem este acontecimento. Entre os diversos tópicos abordados no presente documento encontra-se também uma análise da norma ISO 15118 e dos seus *Uses Cases*, uma explicação de como é feita a comunicação entre o EV e o posto de carregamento para ser possível a bidirecionalidade e a implementação do conceito de V2G, por fim são tiradas algumas conclusões relativas ao trabalho realizado até ao momento bem como as perspetivas de trabalho futuro.



# Abstract

*At the beginning of the nineteenth century (1828) the first electric motors began to be designed but it wasn't until 1835 that the first electric vehicles emerged (EVs). It was believed that these vehicles eventually would revolutionize o paradigm of terrestrial mobility. At first, it was thought that its development would expand quickly in the market, but it hasn't occurred that way due to difficulties related with building, storage and conversion of energy, but also autonomy issues (which has been a very conditioning variable even in the times that run). However, another inconvenience, and perhaps the biggest one, was the emergence of vehicles whose architecture is based on internal combustion engines (ICE) rather than electric propulsion. This compromised the potentially promising future of EVs and its expected development, mainly because ICEs have better autonomy and security levels.*

*On the other hand, and over the years, there was an exponential increase of fossil fuel prices as well as environmental issues concerning its use, wich forced the car market to find solutions to beat this problem and leading to a great bet on electric propulsion vehicles, withe these being a viable alternative.*

*The great progress of power electronics allowed EVs to interact with the electric grid, trading low power resources between the different actors, meaning that EVs were able to inject energy on the grid instead of only receiving it. Along with it, there were created the concepts of Vehicle-to-Grid (V2G) e Grid-to-Vehicle (G2V), wich is the foundation of this thesis. From this, it's possible to conclude that, from the electric grid's point of view, EVs get a role of energy storage, even of low capacity, being able to somehow be used, when together, as a source of significant storage and allow uniformization of grid load's diagram when needed. For this to be possible, there must be a bidireccional EV-Electric network set.*

*This essay presents a brief explanation of the concept of bidirectionality and how it is incorporated on the charging system (system based on the standard IEC 61851) and wich AC/DC and DC/DC converters must be used. Among the topics covered by this document, there is also an analysis of the standard ISO 15118 and its Use Cases, the explanation of how the EV and the supply equipment communicate in order to allow the bidirectionality and the implementation of V2G concept. Lastly, some conclusions are drawn regarding the work that has been done so far and future work perspectives towards it.*



# Agradecimentos

Quando iniciei a realização desta dissertação nunca imaginei as dificuldades que viria a ter ao realizá-la, dificuldades essas ultrapassadas com importantes apoios e incentivos aos quais pretendo dedicar esta secção da mesma.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Professor Engenheiro Carlos Ramos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pela sua orientação, apoio e disponibilidade, transmitindo-me o seu saber, o que resultou na resolução de todos os problemas que foram surgindo ao longo da realização deste trabalho. Simultaneamente, gostaria de agradecer à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a todos os docentes e funcionários da mesma por me proporcionarem uma formação extraordinária sem a qual não conseguiria realizar este trabalho.

Não obstante, gostaria de agradecer ao Engenheiro Vítor Ferreira da EFACEC Engenharia e Sistema, S.A. pela sua orientação, disponibilidade, opiniões e críticas, mas também por me integrar na família da empresa em questão, à qual também pretendo agradecer por me proporcionar a oportunidade de conhecer tão prestigiada empresa e o mundo do trabalho ligado ao ramo das energias.

Igualmente, gostaria de agradecer a todos os meus familiares e amigos mais próximos por todo o apoio durante a minha fase académica e sem os quais este percurso perderia momentos muito importantes que me marcaram durante toda a vida.

Por último, mas não menos importante, dirijo um agradecimento especial aos meus pais, irmão e namorada, por todos os dias me transmitirem os valores de honestidade, coragem e humildade, pelo seu apoio incondicional, incentivo e paciência que me delinearam o caminho a seguir quando me surgisse um obstáculo e, deste modo, conseguir chegar ao fim desta longa caminhada.

A todos, até mesmo aqueles que não referencio e de alguma maneira intervieram no concretizar deste importante objetivo, o meu sincero e grande obrigado.

João Carlos da Silva Vieira Valente



*“Your work is going to fill a large part  
of your life, and the only way to be  
truly satisfied is to do what you believe  
is great work. And the only way to do  
great work is to love what you do.  
If you haven’t found it yet,  
keep looking. Don’t settle.  
As with all matters of the heart,  
you’ll know when you find it.  
And, like any great relationship,  
it just gets better and better  
as the years roll on.  
So keep looking until you find it.  
Don’t settle.”*

Steve Jobs



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento e motivação . . . . .	1
1.2	Objetivos . . . . .	2
1.3	Estrutura . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Estado da arte</b>	<b>5</b>
2.1	Tipos de veículos de propulsão elétrica . . . . .	5
2.1.1	PEV . . . . .	5
2.1.2	PHEV . . . . .	6
2.2	Bidirecionalidade . . . . .	7
2.2.1	<i>Smart Charging</i> . . . . .	7
2.2.2	<i>Smart Grid</i> . . . . .	8
2.2.3	<i>Vehicle-to-Grid (V2G)</i> . . . . .	9
2.3	Modos de carregamento . . . . .	9
2.3.1	Modo 1 . . . . .	9
2.3.2	Modo 2 . . . . .	10
2.3.3	Modo 3 . . . . .	11
2.3.4	Modo 4 . . . . .	12
2.4	Baterias . . . . .	13
2.4.1	Principais características e critérios de seleção . . . . .	13
2.4.2	Tipos de baterias . . . . .	14
2.5	Sistemas de carga . . . . .	15
2.5.1	Tipos de ligações . . . . .	15
2.5.2	Técnicas de carga . . . . .	16
2.6	Conversores bidirecionais . . . . .	17
2.6.1	Conversores AC/DC . . . . .	18
2.6.2	Conversores DC/DC . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Sistema de carregamento</b>	<b>23</b>
3.1	Introdução à norma IEC 61851 . . . . .	23
3.2	Topologia adotada . . . . .	24
3.2.1	Modo de carga . . . . .	24
3.2.2	Arquitetura do sistema . . . . .	25
3.2.3	Conversores propostos . . . . .	29
3.2.4	Sistema de comunicação . . . . .	32
3.2.5	Processo de operação e controlo de outra solução de carregamento . . . . .	35

<b>4</b>	<b>Análise dos <i>Use Cases</i></b>	<b>37</b>
4.1	Introdução à norma ISO 15118 . . . . .	37
4.2	Comunicação . . . . .	38
4.3	Arquitetura do sistema de comunicação . . . . .	39
4.4	Segurança . . . . .	40
4.5	Análise . . . . .	41
4.5.1	Início do processo de carregamento . . . . .	42
4.5.2	Configuração da comunicação . . . . .	44
4.5.3	Tratamento de certificados . . . . .	45
4.5.4	Identificação e autorização . . . . .	47
4.5.5	Definição de metas e do agendar do carregamento . . . . .	52
4.5.6	Controlo do carregamento e re-agendamento . . . . .	57
4.5.7	Serviços de valor acrescentado . . . . .	63
4.5.8	Fim do processo de carregamento . . . . .	65
<b>5</b>	<b>Conclusões e trabalho futuro</b>	<b>67</b>
5.1	Conclusões . . . . .	67
5.2	Trabalho futuro . . . . .	68
<b>6</b>	<b>Anexos</b>	<b>69</b>
6.1	Anexo A . . . . .	70
6.2	Anexo B . . . . .	72
6.3	Anexo C . . . . .	76
6.4	Anexo D . . . . .	78
	<b>Referências</b>	<b>81</b>

# Lista de Figuras

2.1	<i>Smart Charging</i> [20]	8
2.2	Funcionamento da <i>Smart Grid</i> [21]	8
2.3	Esquema simplificado do <i>Vehicle-to-Grid</i> [25]	9
2.4	Modo 1 de carregamento [14]	10
2.5	Modo 2 de carregamento [14]	11
2.6	Modo 3 de carregamento [14]	11
2.7	Modo 4 de carregamento [14]	12
2.8	Reação eletroquímica de uma bateria [1]	13
2.9	Modelo elétrico linear de uma bateria	13
2.10	Ligação - Caso A [5]	15
2.11	Ligação - Caso B [5]	15
2.12	Ligação - Caso C [5]	16
2.13	Topologias de sistemas de carga bidirecional monofásica e trifásica (respectivamente) [31]	17
2.14	Conversor AC/DC <i>Half-Bridge</i> PWM monofásico [31]	18
2.15	Conversor AC/DC <i>Half-Bridge</i> PWM trifásico [31]	18
2.16	Conversor AC/DC <i>Full-Bridge</i> PWM monofásico [31]	19
2.17	Conversor AC/DC <i>Full-Bridge</i> PWM trifásico [31]	19
2.18	Conversor AC/DC <i>Three Level</i> PWM monofásico [31]	20
2.19	Conversor AC/DC <i>Three Level</i> PWM trifásico [31]	20
2.20	Conversor DC/DC <i>Two Quadrant</i> [31]	21
2.21	Conversor DC/DC <i>Integrated</i> [31]	21
2.22	Conversor DC/DC <i>Dual Active Bridge</i> [31]	22
3.1	Relação entre as diferentes normas [4]	23
3.2	Carregamento DC - Modo 4 [14]	24
3.3	Sistema de carregamento DC isolado [6]	25
3.4	Esquemático do sistema de carregamento DC combinado (sistema C) [6]	26
3.5	Diagrama de sequência de um iniciar normal do processo de carregamento [6]	27
3.6	Diagrama de sequência de um desligar normal do processo de carregamento [6]	28
3.7	Conversores propostos [43]	29
3.8	Conversor AC/DC proposto [34]	30
3.9	Diagrama de blocos do conversor AC/DC proposto [33]	30
3.10	Conversor DC/DC proposto [39]	31
3.11	Diagrama de blocos do conversor DC/DC proposto [33]	31
3.12	Representação do funcionamento da <i>PowerLine Communication</i> (PLC) [17]	32
3.13	Diagrama de blocos funcional do QCA7000 [18]	33
3.14	Diagrama de blocos simplificado do QCA7000 [18]	34

3.15	Diagrama de blocos funcional do <i>EVAcharge SE</i> [3] . . . . .	34
3.16	Diagrama de outra solução básica de carregamento DC (sistema B) [6] . . . . .	35
4.1	Representação da norma ISO 15118 [11] . . . . .	37
4.2	Configuração da arquitetura de comunicação [8] . . . . .	38
4.3	Camadas do sistema de comunicação [10] . . . . .	39
4.4	Elementos dos <i>Use Cases</i> e requisitos de segurança [8] . . . . .	40
4.5	Elementos dos <i>Use Cases</i> [8] . . . . .	41
4.6	<i>Use Case</i> A1 . . . . .	42
4.7	<i>Use Case</i> A2 . . . . .	43
4.8	<i>Use Case</i> B1 . . . . .	44
4.9	<i>Use Case</i> C1 . . . . .	45
4.10	<i>Use Case</i> C2 . . . . .	46
4.11	Cenários para a identificação e autorização [8] . . . . .	47
4.12	<i>Use Case</i> D1 . . . . .	48
4.13	<i>Use Case</i> D2 . . . . .	49
4.14	<i>Use Case</i> D3 . . . . .	50
4.15	<i>Use Case</i> D4 . . . . .	51
4.16	<i>Use Case</i> E1 . . . . .	52
4.17	<i>Use Case</i> E2 . . . . .	53
4.18	<i>Use Case</i> E3 . . . . .	54
4.19	<i>Use Case</i> E4 . . . . .	55
4.20	<i>Use Case</i> E5 . . . . .	56
4.21	<i>Use Case</i> F0 . . . . .	57
4.22	<i>Use Case</i> F1 . . . . .	58
4.23	<i>Use Case</i> F2 . . . . .	59
4.24	<i>Use Case</i> F3 . . . . .	60
4.25	<i>Use Case</i> F4 . . . . .	61
4.26	<i>Use Case</i> F5 . . . . .	62
4.27	<i>Use Case</i> G1 . . . . .	63
4.28	<i>Use Case</i> G2 . . . . .	64
4.29	<i>Use Case</i> H1 . . . . .	65
6.1	Descrição do iniciar normal do processo de carregamento [6] . . . . .	70
6.2	Descrição do desligar normal do processo de carregamento [6] . . . . .	71
6.3	Definição dos estados de carregamento [6] . . . . .	72
6.4	Parâmetros de segurança recomendados do sistema de carregamento DC [6] . . . . .	72
6.5	Diagrama de sequência do processo de carregamento segundo o sistema B [6] . . . . .	73
6.6	Diagrama de fluxo do iniciar do processo de carregamento segundo o sistema B [6] . . . . .	74
6.7	Diagrama de fluxo do desligar do processo de carregamento segundo o sistema B [6] . . . . .	75
6.8	Diagrama de fluxo do processo de carregamento segundo a norma ISO 15118-1 [8] . . . . .	76
6.9	Relações da comunicação e troca de dados entre os atores envolvidos [8] . . . . .	76

# Lista de Tabelas

6.1	Mapa de mensagens enviadas e recebidas no processo de carregamento [2] . . . .	78
6.2	Mapa de mensagens enviadas e recebidas no processo de carregamento (cont.) [2]	79



# Abreviaturas e Símbolos

EV	<i>Electric vehicle</i>
PEV	<i>Plug-in electric vehicle</i>
PHEV	<i>Plug-in hybrid electric vehicle</i>
IRC	Imposto sobre o rendimento de pessoas coletivas
V2G	<i>Vehicle-to-Grid</i>
G2V	<i>Grid-to-Vehicle</i>
AC	Corrente alternada
DC	Corrente contínua
PWM	<i>Pulse-width modulation</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
EVCC	<i>Electric vehicle communication controller</i>
SECC	<i>Supply equipment communication controller</i>
EVSE	<i>Electric vehicle supply equipment</i>
PLC	<i>Powerline communication</i>
TCP/IP	<i>Transmission control protocol/Internet protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
OSI	<i>Open system interconnection</i>
HAN	<i>Home area network</i>
HPGP	<i>HomePlug Green Phy</i>
IEE	<i>Institution of Electrical Engineers</i>
OFDM	<i>Orthogonal frequency-division multiplexing</i>
CP	<i>Control pilot</i>
SA	<i>Secondary actor (ator secundário)</i>
MAC	<i>Media access control</i>
EMOCH	<i>E-mobility operator clearing house</i>
FO	<i>Fleet operator</i>
OEM	<i>Original equipment manufacturer</i>
HMI	<i>Human machine interface</i>
DSO	<i>Distribution system operator</i>
DCH	<i>Demand clearing house</i>
A	<i>Ampère</i>
V	<i>Volt</i>
Hz	<i>Hertz</i>
W	<i>Watt</i>



# Capítulo 1

## Introdução

Neste primeiro capítulo é apresentado o contexto do tema da dissertação, e dos veículos elétricos em geral, tanto na área de automação bem como na da electrotecnia. São também apresentados os pontos que motivaram a escolha deste tema, seguindo-se uma pequena descrição dos objetivos esperados aquando da conclusão da dissertação e por fim é apresentada a estrutura deste mesmo documento.

### 1.1 Enquadramento e motivação

O trabalho realizado ao longo da dissertação consiste no estudo teórico de soluções avançadas de controlo do processo de carregamento de EVs, através do estudo pormenorizado da norma ISO 15118 (EVSE - EV) e a sua integração na rede elétrica com possibilidade de bidirecionalidade.

Atualmente, o mercado automóvel viu-se na obrigação de procurar diferentes alternativas que pudessem responder a todas as necessidades bem como ao contínuo aumento do preço dos combustíveis fósseis (mais propriamente do petróleo) e ao alto impacto negativo que estes têm no meio ambiente.

Assim, visto que a redução dos impactos ambientais é um dos maiores desafios a enfrentar, é necessário aumentar a eficiência energética (tido em conta por governos dos países de todo o mundo). Com isto, vários setores de mercado viram aqui uma enorme oportunidade de expandirem o seu negócio e mostrarem todo o seu potencial, sendo os veículos elétricos um destes casos cujos benefícios relativos a esta temática são bastante vastos.

Os veículos elétricos foram surgindo com o avançar da tecnologia e evoluindo cada vez mais, desenvolvendo-se assim a capacidade de bidirecionalidade de energia com a rede elétrica, devido ao progresso na eletrónica de potência. Tal facto conduziu a um enorme aumento da eficiência de todos os intervenientes no processo e, assim, a uma diminuição dos efeitos prejudiciais ao meio ambiente.

Com isto, o mercado automóvel e os fabricantes em geral estão cada vez mais empenhados na aposta neste tipo de tecnologias contribuindo, assim, para uma mudança drástica e significativa do paradigma da modalidade.

Através desta tecnologia e das interações bidirecionais, pelas quais é possível fornecer (V2G) e obter (G2V) energia da rede elétrica, é também possível minimizar inúmeros problemas, entre eles destacam-se as flutuações diárias na procura de energia. Ou seja, através destas interações consegue-se uma melhor gestão da energia e, conseqüentemente, é evitado o seu desaproveitamento, resultante do excesso de produção por parte das centrais ou mesmo quando a procura é demasiado elevada acaba por ser possível fornecer energia, o que conduz a uma não ativação de centrais auxiliares, resultando assim numa enorme poupança de energia.

Em suma, o trabalho em curso tem como objetivo o estudo de soluções avançadas de carregamento de EVs, com base na norma ISO 15118, implementando nestas as interações bidirecionais bem como os conceitos de *Smart Charging* e *Smart Grid*, e, nomeadamente, a sua implementação em veículos elétricos e seus carregadores.

## 1.2 Objetivos

Neste tópico são apresentados os principais objetivos referentes ao projeto em causa, servindo estes como guia para o seu desenvolvimento e para a estrutura do documento.

- Revisão bibliográfica no âmbito dos sistemas de carga bidirecional de veículos elétricos através da tecnologia *Plug-In*, com especial atenção sobre a eletrónica de potência, requisitos da rede e baterias;
- Análise das normas IEC 61851 e ISO 15118 e dos seus *Use Cases*;
- Implementação de funcionalidades de *Smart Charging*;
  - Gestão de potência;
  - Bidirecionalidade;
  - Peak Shaving*;
  - Diferimento;
  - Gestão baseada em *inputs* da rede;
- Introdução de funcionalidades nos EVSE (*Electrical Vehicle Supply Equipment*) de *Smart Charging*, através da identificação do EV pelo EVSE (norma ISO 15118), tipo *plug and charge*;
- Gestão da potência de carregamento em função de comandos recebidos da gestão da instalação ou da rede elétrica, incluindo algoritmos residentes no EVSE;
- Possibilidade de bidirecionalidade no trânsito de energia.

## 1.3 Estrutura

Devido ao facto de se tratar de um projeto que envolve inicialmente uma componente mais teórica e futuramente uma aplicação prática, é necessário haver uma sequência lógica na estrutura do documento, a qual é apresentada de seguida bem como o conteúdo pertencente a cada capítulo.

No capítulo 1 é feita uma pequena introdução ao tema da dissertação e são discriminados quais os objetivos esperados para o projeto em questão.

No capítulo 2 é apresentado o estado da arte que consiste essencialmente numa revisão bibliográfica que visa dar uma pequena noção de quais os tipos de veículos de propulsão elétrica existentes bem como uma perspetiva histórica, é feita uma explicação sucinta de quais os modos de carregamento de EVs existentes e como estes funcionam, é dada uma pequena noção do conceito de V2G bem como de *Smart Charging* e de *Smart Grid*, é também abordada a temática dos diversos modos de comunicação que podem ser implementados num sistema de carregamento inteligente, e por fim são apresentados diferentes tipos de conversores que podem ser implementados com vista à possibilidade de bidirecionalidade no sistema.

Posteriormente, no capítulo 3, é escolhida a topologia de carga do EV (de acordo com a norma IEC 61851) bem como os sistemas de conversores tanto AC/DC como DC/DC usados para permitir a bidirecionalidade. Além disso, é escolhida qual a linguagem usada para a comunicação entre o EV e o posto de carregamento e como esta é realizada.

De seguida, no capítulo 4, é analisada a norma ISO 15118 bem como os seus *Use Cases* para ser possível conhecer todo o processo de carregamento e quais os passos a seguir, assim como o que acontece quando existe algum tipo de erro ou falha e como é realizada a comunicação entre o EV e o carregador aquando do carregamento mas principalmente aquando do processo de V2G, no qual se baseia todo o projeto.

Finalmente, no capítulo 5, são referenciadas as principais conclusões tiradas ao longo do projeto, dando ainda algumas pistas para desenvolvimento de trabalho futuro com vista à implementação prática desta temática.

O presente documento termina com os diferentes anexos e referências usadas no projeto.



## Capítulo 2

# Estado da arte

Neste capítulo é apresentado o estado da arte que consiste essencialmente numa revisão bibliográfica que visa dar uma pequena noção de quais os tipos de veículos de propulsão elétrica existentes bem como uma perspetiva histórica, é feita uma explicação sucinta de quais os modos de carregamento de EVs existentes e como estes funcionam. É igualmente dada uma pequena noção do conceito de V2G bem como de *Smart Charging* e de *Smart Grid* e é abordada a temática dos diversos modos de comunicação que podem ser implementados num sistema de carregamento inteligente. Por fim são apresentados diferentes tipos de conversores que podem ser implementados com vista à possibilidade de bidirecionalidade no sistema.

### 2.1 Tipos de veículos de propulsão elétrica

Antes de se falar nos diferentes modos de carregamento que existem no mercado e que estão a ser desenvolvidos é conveniente fazer uma breve referência aos veículos elétricos que utilizam estas tecnologias.

De entre os veículos que têm a capacidade de utilizar estas tecnologias, desde veículos ligeiros, pesados de mercadorias e de passageiros, motociclos, entre outros, destacam-se dois grandes grupos que os caracterizam. São eles, os veículos elétricos *plug-in* (PEV) e os *plug-in hybrid electric vehicles* (PHEV).

#### 2.1.1 PEV

Dá-se o nome de veículos elétricos *plug-in* àqueles cuja sua propulsão se deve à atuação de motores elétricos. Estes veículos são constituídos por dois sistemas, um primário de energia, composto por uma ou várias máquinas elétricas, e um de acionamento e controlo, que tem como função o controlo da sua velocidade e do seu binário.

Os veículos elétricos começaram a ser desenvolvidos no século XIX, quando, em 1828, o húngaro *Ányos Jedlik* realizou o primeiro projeto para o fabrico de um motor elétrico. Mas foi só mais tarde, em 1835, que foi construído o primeiro veículo elétrico por *Thomas Davenport*.

Estes veículos, devido ao facto de serem de propulsão elétrica, têm inúmeras vantagens tais como a diminuição da poluição ambiental, pois como fazem parte do grupo dos veículos de zero emissões não emitem quaisquer gases poluentes (gases com efeito de estufa como dióxido de carbono e monóxido de carbono) para o meio ambiente. A diminuição da poluição sonora, pois são consideravelmente mais silenciosos que os veículos convencionais com motor de combustão. E, por fim, a enorme poupança não só nos combustíveis, mas também porque a aquisição de veículos elétricos permite uma isenção fiscal em sede de IRC (em Portugal).

Contudo, os veículos elétricos também possuem algumas contrapartidas, entre elas os maiores destaques vão para o seu elevado preço e para a sua reduzida autonomia devido ao facto de ainda não terem sido desenvolvidas baterias que lhes proporcionem o seu aumento (problema atenuado pelo desenvolvimento de carregadores denominados rápidos que reduzem o tempo de carregamento das baterias).

Alguns dos exemplos de veículos elétricos fabricados até à data são, *BMW i3*, *Mitsubishi i-MiEV*, *Nissan Leaf*, *Renault Twizy e Zoe*, *Tesla Model S*, entre muitos outros. Com o passar do tempo e com o avanço das tecnologias utilizadas vão ser cada vez mais as marcas de automóveis a apostar neste tipo de veículos e a proceder ao seu fabrico em larga escala, sendo cada vez menos usados os veículos com motores de combustão. [42] [15] [16]

### 2.1.2 PHEV

Existe, porém, outro tipo de veículos de propulsão elétrica que são os automóveis híbridos elétricos. Estes são caracterizados por possuírem para além do motor elétrico, tal como os veículos elétricos referenciados anteriormente, um motor de combustão interna, a maioria das vezes a gasolina. No caso destes automóveis o motor elétrico é usado para reduzir o esforço do seu motor de combustão e, conseqüentemente, reduzir os consumos e emissões de gases poluentes.

Os automóveis híbridos começaram a ser desenvolvidos no final do século XX, quando, em 1997, foi lançado o primeiro veículo híbrido por parte dos japoneses da Toyota, que colocaram no mercado o *Toyota Prius*. A partir desta data, cada vez mais marcas começaram a desenvolver os seus modelos híbridos e a lança-los para o mercado.

Este tipo de veículos podem ser classificados de três diferentes formas. Podem ser automóveis nos quais a sua locomoção é feita a partir do motor de combustão e o elétrico serve apenas como auxílio na melhora do seu desempenho (híbrido paralelo). Por outro lado, podem ter um motor elétrico responsável pela sua locomoção e um de combustão que auxilia no movimento de um gerador que tem como função gerar energia para recarregar as baterias (híbrido série). Por último, pode ser um sistema misto, que incorpora as características dos outros dois sistemas, maximizando assim todas as vantagens, permitindo fornecer energia às rodas e ao mesmo tempo gerar energia, com o auxílio de um gerador.

Por consequência das suas características, estes veículos híbridos possuem enormes vantagens no que diz respeito à economia de combustível. Esta é devida ao facto de haver não só uma redução do tamanho do motor de combustão, mas também de outros fatores como o uso do Ciclo de

*Atkinson*, que dá prioridade a uma enorme eficiência energética ao invés da potência, ou a utilização da travagem regenerativa, onde a energia que resulta desta é armazenada para recarregamento das baterias. Uma das grandes vantagens que auxilia na economia de combustível é a captação de energia solar ou eólica por parte do veículo para recarregamento das baterias.

Alguns dos exemplos de veículos elétricos fabricados até à data são: *Chevrolet Volt*, *Mitsubishi Outlander PHEV*, *Toyota Prius*, *Porsche Panamera S E-Hybrid*, entre muitos outros. Com o passar do tempo e com o avanço das tecnologias utilizadas vão ser cada vez mais as marcas de automóveis a apostar neste tipo de veículos e a proceder ao seu fabrico em larga escala e vai sendo cada vez menos usado o motor de combustão, apostando-se cada vez mais nos veículos totalmente elétricos. [36] [38] [26] [28] [32]

## 2.2 Bidirecionalidade

O constante desenvolvimento tecnológico na área da eletrónica de potência fez com que fosse possível a bidirecionalidade de recursos de baixa potência com a rede elétrica. Para ser possível um estudo desta interação entre sistemas existem diversos conceitos que têm de estar presentes senão esta não seria concretizável.

### 2.2.1 *Smart Charging*

O *Smart Charging* (carregamento inteligente) consiste no carregamento do EV quando existe uma permissão ou necessidade da rede elétrica para tal. Para ser possível tem de ser mantida a comunicação entre o veículo elétrico e a própria rede, ao contrário da carga dita normal em que apenas é conectado o veículo ao carregador tal como é realizado na maioria dos sistemas de carregamento sem o recurso a qualquer sistema de comunicação.

Por outras palavras, o *Smart Charging* de um EV é a possibilidade de alteração por parte de eventos externos do ciclo de carregamento, proporcionado assim ao veículo a integração em todo o sistema de potência de uma maneira muito mais simples. Deste modo, o carregamento inteligente torna o sistema muito mais fiável, ou seja, facilita a sua segurança.

Em todo o caso, este é um processo motivado pelos *Price Signals*, onde existe uma resposta por parte da carga dos EVs ao tempo de uso, preço da energia por hora, etc, e pelos *Control Signals*, que estão de acordo com as situações do mercado e da rede elétrica.

Por conseguinte, o *Smart Charging* tem diversas vantagens para os vários intervenientes:

- 1) **Clientes:** satisfação, custo reduzidos de energia e valor ecológico;
- 2) **Sistema de potência:** otimização da geração e capacidade da rede, eficiência de custo, minimização dos custos de reforço da rede e facilidade da integração de fontes renováveis;
- 3) **Sociedade:** redução das emissões de CO2 e os custos relacionados com estas emissões, aumento da eficiência energética e do bem estar social. [40] [19]

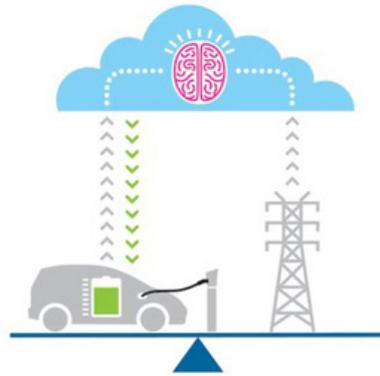


Figura 2.1: *Smart Charging* [20]

### 2.2.2 *Smart Grid*

O termo *Smart Grid*, ainda que não esteja bem consolidado, diz respeito a um sistema de energia que, para tornar o sistema mais eficiente tanto económica como energeticamente, confiável e sustentável, acaba por dar uso da tecnologia proveniente da informação existente. Uma rede elétrica inteligente é caracterizada por possuir sistemas de transmissão e distribuição transparentes e controláveis, capacidade de resposta e controlo da procura e por fim por utilizar fontes de energia renovável e possuir geração distribuída.

Tal como a maioria dos sistemas inteligentes, também estas redes elétricas possuem enormes benefícios, entre os quais a eficiência, devido à redução do consumo de energia, a redução dos custos e das emissões de CO<sub>2</sub> e por último a enorme confiabilidade, pois a rede tem a capacidade de detetar falhas no sistema. [37]

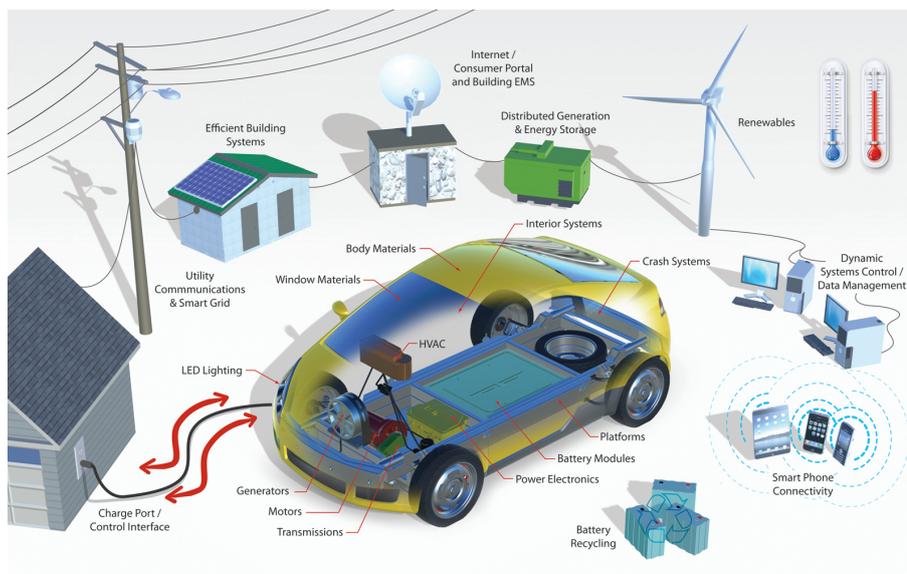


Figura 2.2: Funcionamento da *Smart Grid* [21]

### 2.2.3 Vehicle-to-Grid (V2G)

*Vehicle-to-Grid* (V2G) é o esquema de carregamento mais complexo e é considerado como uma extensão do *Smart Charging*. Este descreve um sistema onde os EVs comunicam com a rede elétrica para venderem serviços de resposta à procura, tanto com a devolução de energia à rede como com a limitação da taxa de carregamento.

Como em cada instante cerca de 95% dos veículos estão estacionados, as suas baterias podem ser usadas para fazer fluir a energia do EV para a rede assim como o processo inverso (carregamento propriamente dito). O esquema V2G pode ser alcançado a partir da descarga através de fluxo de energia bidirecional ou então através da modulação da taxa de carga com fluxo de energia unidirecional. [30] [22] [23] [24]

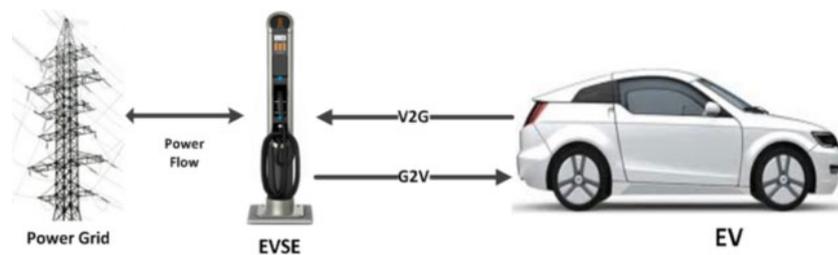


Figura 2.3: Esquema simplificado do *Vehicle-to-Grid* [25]

## 2.3 Modos de carregamento

O processo de carga de um EV pode ser feito com recurso a carregadores *off-board* ou *on-board*, existindo assim quatro modos de carregamento distintos.

### 2.3.1 Modo 1

Este tipo de carregamento baseia-se na carga lenta a partir de uma tomada normalizada, onde não existe comunicação tomada-veículo. Refere-se assim à ligação de um veículo elétrico à rede elétrica utilizando tomadas domésticas normalizadas não excedendo 16A nem 230V monofásicos ou 380V trifásicos. Nesta ligação são utilizados os pinos das fases, o neutro e a terra (meio de proteção).

Como se trata de um modo de carregamento onde o posto de carregamento é apenas uma tomada, este tem como principal e única vantagem a sua simplicidade. Por outro lado, tem como enorme desvantagem o facto de ser bastante perigoso, pois o cabo de carregamento fica sempre com tensão no extremo que liga ao EV a partir do momento em que é ligado no posto de carregamento. Além disto o veículo poderá não saber se está a ser carregado podendo o condutor arrancar com o cabo ligado se não houver algum interruptor mecânico no encaixe do EV.

Conclui-se assim que este modo de carregamento, pela sua simplicidade, é mais indicado para motocicletas elétricas e pequenos veículos, e por ser económico pode facilmente ser utilizado em casa. [12] [13]



Figura 2.4: Modo 1 de carregamento [14]

### 2.3.2 Modo 2

Este tipo de carregamento baseia-se na carga lenta a partir de uma tomada normalizada com um dispositivo de proteção no próprio cabo, ou seja, a tomada doméstica é munida de um aparelho ligado por cabo que permite a comunicação com o veículo protegendo assim a instalação. Refere-se então à ligação de um veículo elétrico à rede elétrica utilizando tomadas domésticas normalizadas não excedendo 32A nem 230V monofásicos ou 400V trifásicos. A diferença deste para o modo 1 é que existe um bloco de controlo (*Control Pilot*) no cabo entre a tomada da estação de carregamento e a ficha de ligação ao EV. Nesta ligação são utilizados os pinos das fases, o neutro e a terra (meio de proteção), para além destes é também usado um pino de controlo que permite transferir informação entre o EV e o bloco de controlo. Desta forma, só quando é estabelecida a comunicação entre o EV e o bloco de controlo é que são energizados os condutores, impedindo que se apanhem choques elétricos na ficha que liga ao EV. Para além disto, o bloco de controlo tem funções de proteção diferencial, cortando assim a alimentação caso seja detetada uma fuga à terra, prevenindo deste modo a ocorrência de choques elétricos graves mesmo em caso de degradação do cabo ou mesmo de entrada de água.

Apesar de mais complexo que o modo 1, este continua a ser relativamente simples devido ao posto de carregamento poder ser apenas uma tomada industrial normal. Além disso, tem também como vantagem ser razoavelmente seguro, pois entre o bloco de controlo e o EV existe proteção contra choques elétricos bem como contra o esquentamento por parte do utilizador de desligar o cabo do EV. Por outro lado, isto também se torna uma desvantagem devido ao facto de não existir proteção diferencial e desligamento automático da corrente caso o EV não seja detetado entre o posto de carregamento e o bloco de controlo. Tem também como enorme senão o facto de ser limitado a 22kW, ou seja, a potência é insuficiente quando se pretende obter cargas rápidas.

Com este modo de carregamento pode-se então concluir que são permitidas cargas tanto lentas como médias de veículos elétricos com um grau de segurança aceitável, assegurando sempre uma baixa complexidade da estação de carregamento. Também pelo facto de ser bastante económico pode seguramente ser utilizado em casa para usos domésticos. [12] [13]

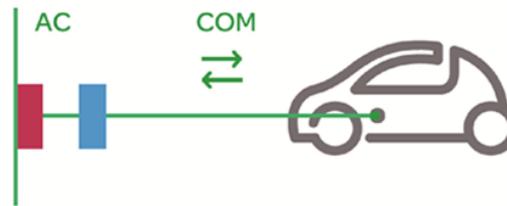


Figura 2.5: Modo 2 de carregamento [14]

### 2.3.3 Modo 3

Este tipo de carregamento baseia-se na carga lenta ou rápida utilizando uma tomada própria para veículos elétricos com funções de controlo e proteção. Refere-se então à ligação de um EV à rede elétrica utilizando postos de carregamento e tomadas específicas para EVs. Neste modo de carga é utilizado um sinal de controlo, com recurso a um pino próprio, que permite ao EV dar a informação ao posto de carregamento para iniciar, parar ou regular a carga. Os conectores e cabos para este modo têm condutores e pinos específicos para o sinal de controlo fazendo com que a tomada no posto de carregamento só fique energizada quando for dada ordem por parte do EV para tal, melhorando desta forma a segurança.

O modo 3 pode deste modo ser usado tanto para carga lenta como rápida, em AC ou DC. Para a carga rápida existe a necessidade de possuir conectores específicos para o EV podendo a corrente de carga chegar aos 250A. Quando as correntes se encontram acima dos 32A é necessário que o EV comunique ao posto de carregamento qual o tipo de carga que é solicitado.

Apesar de mais complexo e mais caro que os modos 1 e 2, o que obriga a haver alguma inteligência e eletrónica de controlo por parte do EV para comunicar com o posto de carregamento, este permite cargas rápidas e tem a enorme vantagem de ser muito seguro, isto porque só quando o EV comunica com o posto de carregamento é que é ligada a energia.

Pode-se então concluir que são permitidas cargas tanto lentas como médias de EVs com um grau de segurança elevado, devido ao facto de haver um aumento da complexidade e custo da estação de carregamento. Este pode também ser utilizado em casa para cargas lentas bem como para cargas médias e rápidas se houver potência disponível para o efeito. [12] [13]



Figura 2.6: Modo 3 de carregamento [14]

### 2.3.4 Modo 4

Ao contrário dos restantes modos de carregamento, este em particular baseia-se na carga rápida DC, o que permite um carregamento rápido usando-se para tal um carregador externo com corrente contínua. Toda a tecnologia envolvida que permite a comunicação com o EV é montada durante a instalação do posto de carregamento. Refere-se então à ligação de um EV à rede elétrica utilizando postos de carregamento onde é efetuada a conversão para corrente contínua (DC) através de um conversor AC/DC com recurso a tomadas específicas para carga rápida DC de EVs. Neste tipo de carregamento é utilizado um sinal de controlo, através de um pino próprio, que permite ao EV dar indicação ao posto de carregamento para iniciar, parar ou mesmo regular a carga.

Para o modo 4, os conetores e cabos têm condutores e pinos específicos para o sinal de controlo fazendo com que a tomada no posto de carregamento só fique energizada quando o EV der ordem para tal, melhorando consideravelmente a segurança. Este modo é assim utilizado para carga rápida DC com correntes que podem chegar aos 400A.

Tal como o modo 3, este permite cargas rápidas e tem como grande vantagem o facto de ser extremamente seguro, pois só quando o EV comunica com o posto de carregamento é que é ligada a energia. Em contrapartida, torna-se demasiado caro e complexo, o que obriga a haver inteligência e eletrónica de controlo no EV para comunicar com o posto de carregamento e implica também uma tomada preparada para a carga rápida DC.

Depois do estudo dos vários tipos de carregamento, pode-se concluir que o modo 4 é o que permite cargas mais rápidas dos EVs com um grau de segurança muito bom à custa do aumento da complexidade e custo da estação de carregamento. Por outro lado, também se pode concluir que não é previsto que se possa vir a utilizar em casa. [12] [13]

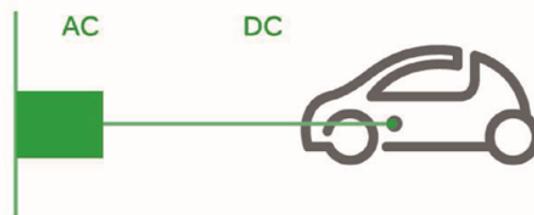


Figura 2.7: Modo 4 de carregamento [14]

## 2.4 Baterias

De entre os diversos componentes dos EVs o que mais se destaca é sem dúvida a bateria e neste ponto é realizado um breve estudo que descreve os vários tipos de baterias que podem fazer parte de um EV, as suas principais características e quais os critérios essenciais para a sua escolha.

### 2.4.1 Principais características e critérios de seleção

As baterias são dispositivos que convertem energia química em energia elétrica com recurso a reações eletroquímicas (oxidação-redução). [44]

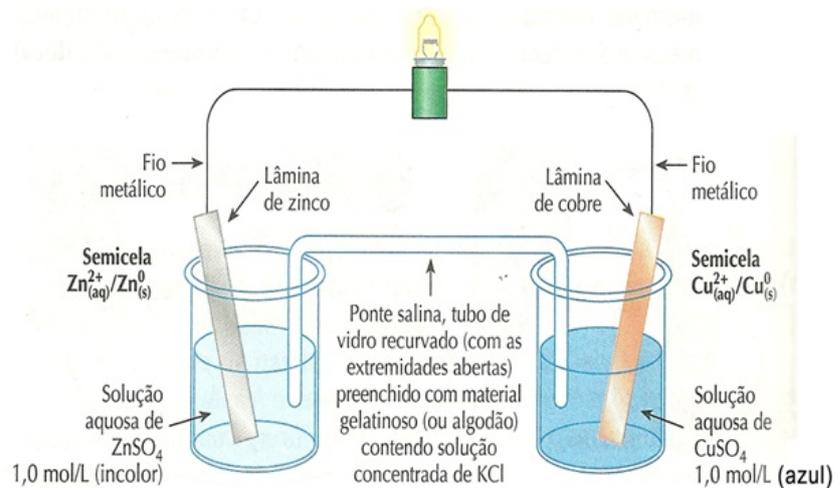


Figura 2.8: Reação eletroquímica de uma bateria [1]

No que diz respeito às baterias existem três categorias de modelação das mesmas, os modelos eletroquímicos, matemáticos e elétricos. [44]

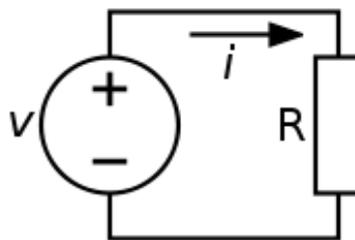


Figura 2.9: Modelo elétrico linear de uma bateria

Para se proceder à seleção de uma bateria das existentes tem de se ter em conta os diferentes critérios:

1. Ciclos de funcionamento;
2. Tempo de carga e descarga;
3. Longevidade;
4. Energia, densidade e potência específicas;
5. Densidade de potência;
6. Nível de manutenção e segurança;
7. Impacto ambiental;
8. Custo. [44]

### 2.4.2 Tipos de baterias

Desde o aparecimento das primeiras baterias elétricas, no séc. XVIII, que estas sofreram um enorme avanço tecnológico. Nos dias que correm, apenas são utilizados alguns tipos de baterias dos quais o maior destaque vai para as de:

- Ácido-chumbo;
- Níquel-cádmio;
- Hidretos metálicos de níquel;
- Iões de lítio;
- Zinco ar;
- Gel.

Atualmente, as mais usadas são as de hidretos metálicos de lítio (NiMH) que têm como maiores capacidades o facto de fornecerem enormes quantidades de potência, possuírem uma autonomia mais elevada que as restantes e por possibilitarem a implementação do chamado carregamento rápido.

Em jeito de conclusão, no que diz respeito aos diferentes tipos de baterias, as de NiMH (que, por serem as mais usadas, vão ser alvo de maior ênfase) possuem diversas vantagens entre as quais a sua boa densidade energética, o elevado número de ciclos de vida, o facto de serem recicláveis, possuírem materiais não tóxicos, permitirem o carregamento rápido e a sua utilização ser bastante segura. Por outro lado, têm um elevado risco de sobreaquecimento influenciando assim os ciclos de vida e o seu preço é muito alto. [29] [35]

## 2.5 Sistemas de carga

Neste tópicos são apresentados diferentes tipos de ligações dos EVs com recurso a cabos e também de forma mais pormenorizada os diferentes tipos de conetores que ligam o carregador ao respetivo EV.

### 2.5.1 Tipos de ligações

No caso A a ligação entre o EV e o carregador AC utiliza um cabo de abastecimento e uma ficha permanentemente ligadas ao EV, como está descrito na figura 2.10. [5]

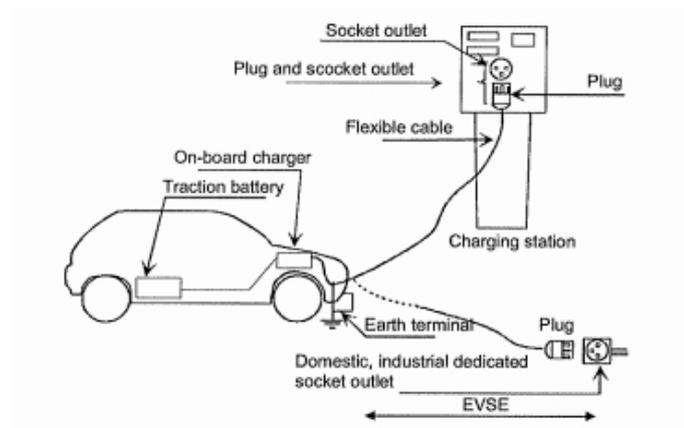


Figura 2.10: Ligação - Caso A [5]

No caso B a ligação entre o EV e o carregador AC utiliza um cabo de abastecimento e uma ficha que são separáveis do EV, como está descrito na figura 2.11. [5]

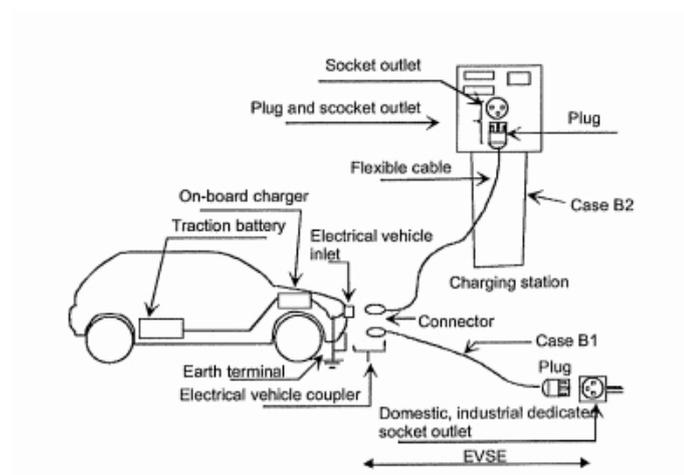


Figura 2.11: Ligação - Caso B [5]

No caso C a ligação entre o EV e o carregador AC ou DC utiliza um cabo de abastecimento e uma ficha permanentemente ligadas ao EV, como está descrito na figura 2.12. Apenas o caso C pode ser utilizado com o modo 4 de carregamento. [5]

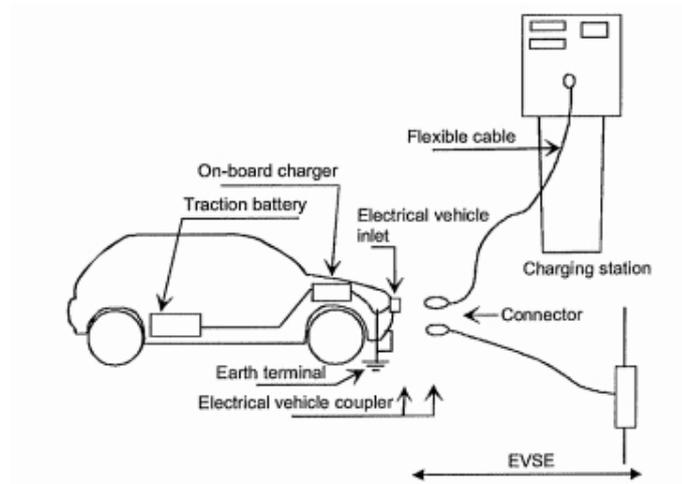


Figura 2.12: Ligação - Caso C [5]

### 2.5.2 Técnicas de carga

O carregamento de baterias, sendo um processo bastante crítico, pode ser realizado de diversas formas, umas mais lentas e deste modo mais simples, e outras mais rápidas que por sua vez são consideravelmente mais complexas. Com isto pode-se definir que existem 3 modos de carregamento distintos, que diferem entre si pelo valor de corrente de carga.

**1) Modo *Low-rate charging*:** A sua taxa de carga é aproximadamente  $0.1C$ , sendo concluído o carregamento após o sinal de um *timer*. Até atingir a carga total, este modo pode demorar cerca de 16h, sendo, por esta razão, utilizado como sistema de carregamento noturno. O seu baixo nível de complexidade é a sua principal característica devido ao algoritmo utilizado.

**2) Modo *Quick charging*:** Neste modo a taxa de carga ronda os  $0.3C$  e o seu carregamento é concluído após o sinal de um *timer*. As baterias atingem a carga completa em cerca de 5h, apenas quando sobre a bateria é aplicada uma carga entre 120% e 150% da suportada.

**3) Modo *Fast charging*:** A taxa de carga deste modo é igual ou superior a  $1C$ , o que permite que o carregamento completo da bateria seja feito em menos de 1h. Neste modo é necessário incluir um sistema de monitorização da temperatura para prevenir o sobreaquecimento da bateria.

[27]

## 2.6 Conversores bidirecionais

Com o passar dos anos os fabricantes de EVs tem vindo a apostar cada vez em novas formas de transferir energia, não só da rede para o veículo, mas também do veículo para a rede. Ou seja, com recurso a conversores bidirecionais os EVs passam a estar habilitados, através da tecnologia *Plug-In*, à carga normal das suas baterias a partir da rede elétrica (G2V) ao mesmo tempo que têm a capacidade de devolver energia para a rede quando necessário, isto é, em horas em que o veículo não esteja a ser utilizado e em que haja um consumo mais elevado de energia elétrica (V2G). Para tal ser possível recorre-se a carregadores que possuem conversores bidirecionais, que operam em dois modos de funcionamento distintos.

1. **Modo de Carga:** Consumir uma corrente sinusoidal limpa e em fase com a rede de modo a evitar harmónicos de corrente e garantindo um fator de potência unitário.
2. **Modo de Descarga:** Fornecer uma corrente o mais sinusoidal possível e em fase com a tensão. [31]

Os sistemas bidirecionais têm diferentes topologias dependendo do facto de serem monofásicos ou trifásicos, como pode ser observado na figura 2.19.

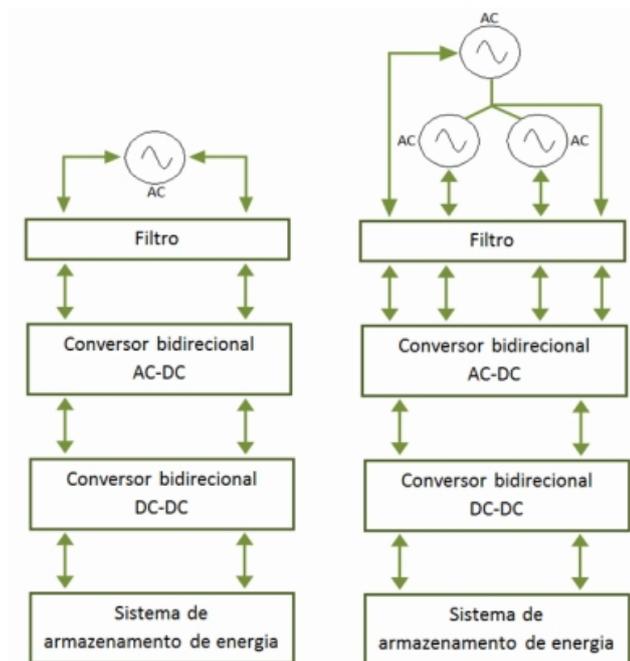


Figura 2.13: Topologias de sistemas de carga bidirecional monofásica e trifásica (respetivamente) [31]

## 2.6.1 Conversores AC/DC

### 2.6.1.1 Conversor *Half-Bridge* PWM

Nas figuras 2.14 e 2.15 estão representados os conversores bidirecionais AC/DC *Half-Bridge* PWM monofásico e trifásico respetivamente.

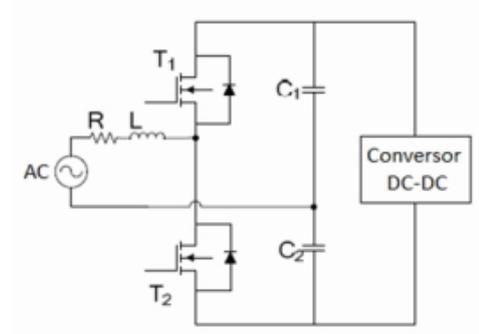


Figura 2.14: Conversor AC/DC *Half-Bridge* PWM monofásico [31]

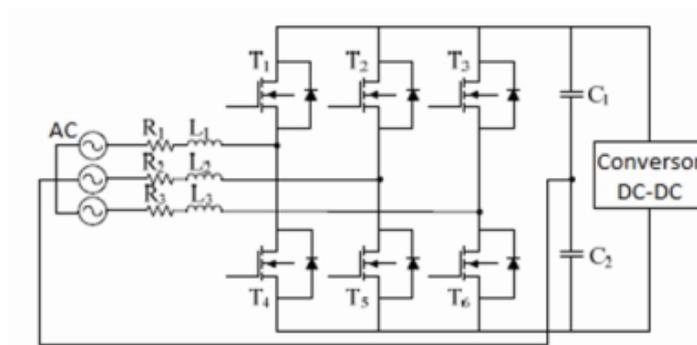


Figura 2.15: Conversor AC/DC *Half-Bridge* PWM trifásico [31]

Concluiu-se que uma das grandes vantagens desta opção é o seu *design* simples, resultando num menor número de componentes e, consequentemente, num menor custo de produção.

Contudo, existem também algumas desvantagens associadas, destacando-se o elevado *stress* que este conversor proporciona aos seus componentes, podendo assim ser necessária a inclusão de transístores em série ou em paralelo de modo a que estes possam gerir de melhor forma elevadas correntes ou tensões, e também o facto desta topologia originar um elevado número de harmónicos, comprometendo assim o estado da rede elétrica.

É importante referir que, apesar da pequena quantidade de componentes utilizados por esta topologia, caso se trate de uma aplicação de elevada potência, o custo final do projeto pode-se tornar bastante elevado. [31]

### 2.6.1.2 Conversor *Full-Bridge* PWM

Nas figuras 2.16 e 2.17 estão representados os conversores bidirecionais AC/DC *Full-Bridge* PWM monofásico e trifásico respectivamente.

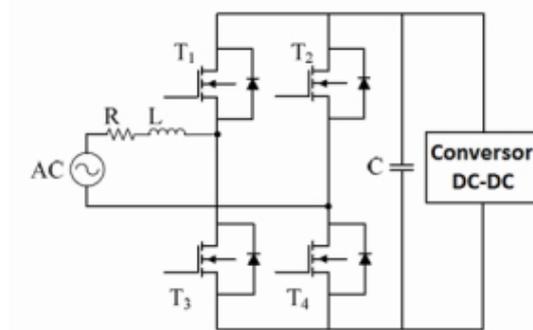


Figura 2.16: Conversor AC/DC *Full-Bridge* PWM monofásico [31]

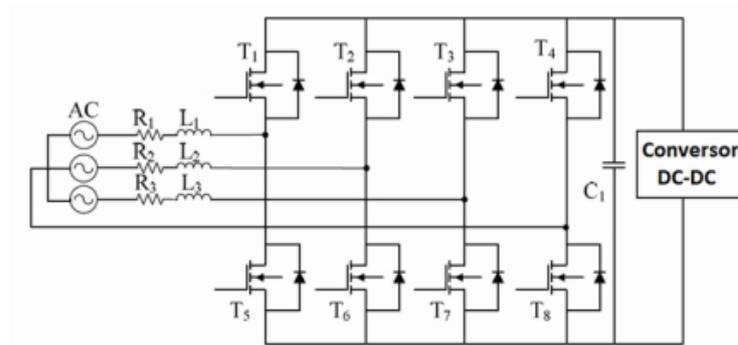


Figura 2.17: Conversor AC/DC *Full-Bridge* PWM trifásico [31]

Comparando as topologias *Half-Bridge* e *Full-Bridge*, esta última apresenta menos um condensador e mais dois *switches*. À primeira vista, esta opção parece ser a mais cara, no entanto é importante referir que o esforço exigido aos componentes é menor na *Full-Bridge*, significando neste caso que, apesar de ter mais *switches*, o custo final do circuito será menor.

O fator negativo encontra-se do lado do controlador PWM, isto porque, quanto maior for o número de *switches* presentes no circuito, maior complexidade apresentará o respetivo circuito de controlo. Também a topologia *Full-Bridge* pode produzir harmónicos de corrente, caso não se implemente um filtro para o efeito. [31]

### 2.6.1.3 Conversor *Three-Level* PWM

Nas figuras 2.18 e 2.19 estão representados os conversores bidirecionais AC/DC *Three Level* PWM monofásico e trifásico respetivamente.

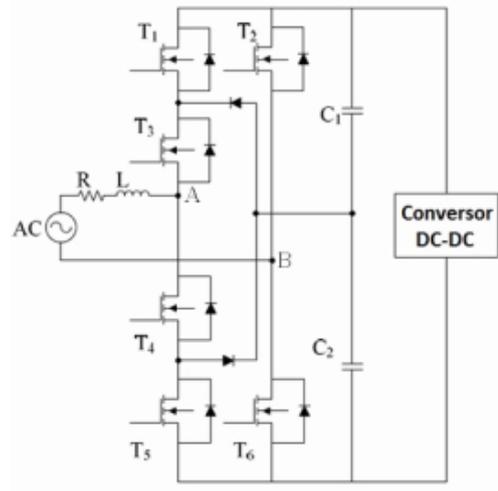


Figura 2.18: Conversor AC/DC *Three Level* PWM monofásico [31]

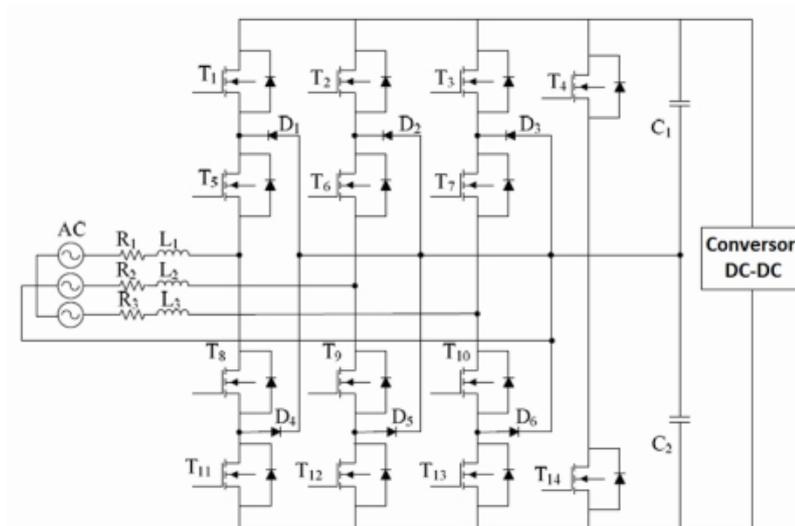


Figura 2.19: Conversor AC/DC *Three Level* PWM trifásico [31]

Em suma, esta opção é bastante mais complexa pois envolve um maior número de componentes e, conseqüentemente, um circuito de controlo mais elaborado. No entanto, esta topologia disponibiliza uma forma de onda bem mais aprimorada, comparativamente com as topologias anteriores, o que possibilita utilizar um filtro mais pequeno e mais barato. Também o *stress* exigido aos componentes é menor, assim como o ruído acústico e a interferência eletromagnética. [31]

## 2.6.2 Conversores DC/DC

### 2.6.2.1 Conversor *Buck-Boost*

Nas figuras 2.20 e 2.21 estão representados os conversores bidirecionais DC/DC *Buck-Boost* de dois quadrantes e integrado respetivamente.

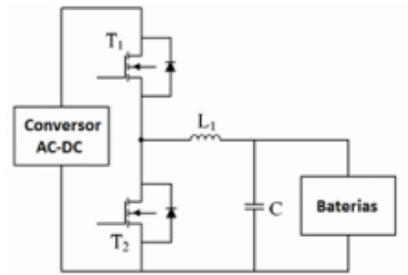


Figura 2.20: Conversor DC/DC *Two Quadrant* [31]

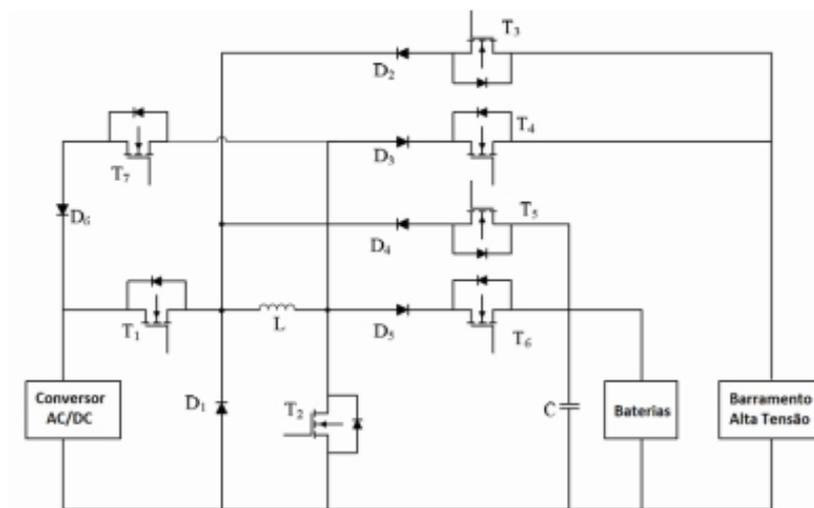


Figura 2.21: Conversor DC/DC *Integrated* [31]

Estes dois conversores bidirecionais caracterizam-se por utilizarem um menor número de componentes que os restantes conversores DC/DC e necessitarem apenas de dois sinais de controlo, sendo estas enormes vantagens na sua utilização e aplicação em sistemas. [31]

### 2.6.2.2 Conversor *Dual Active Bridge*

Nas figuras 2.22 está representado os conversor bidirecional DC/DC *Dual Active Bridge* que consiste em duas pontes ativas ligadas por um transformador.

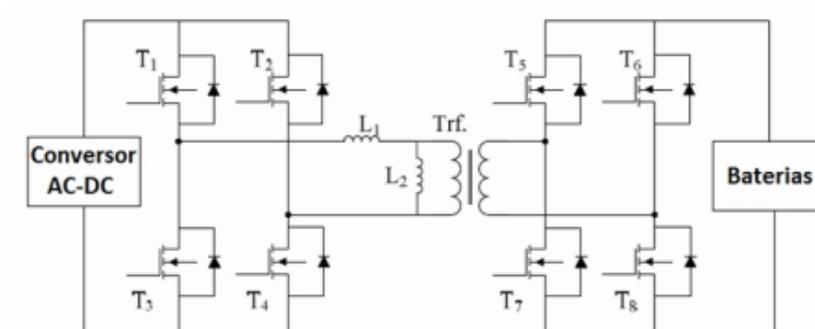


Figura 2.22: Conversor DC/DC *Dual Active Bridge* [31]

Apesar do conversor DC/DC de dois quadrantes (*Buck-Boost*) implicar a utilização de um menor número de componentes e necessitar apenas de dois sinais de controlo (o que o tornaria uma melhor escolha), a existência da bobina de elevada corrente torna o circuito maior no que diz respeito ao tamanho e, de igual modo, mais caro. Por fim, o facto de funcionar somente com circuito elevador num sentido e abaixador no outro pode ser um problema comparativamente com o conversor bidirecional DC/DC *Dual Active Bridge*, dependendo da aplicação que se pretende implementar. [31]

## Capítulo 3

# Sistema de carregamento

### 3.1 Introdução à norma IEC 61851

A norma IEC 61851 diz respeito a equipamentos *on-board* e *off-board* e baseia-se tanto no carregamento em AC (até 1000V) como em DC (até 1500V) de EVs. Aquando da necessidade de serviços adicionais no veículo, é fornecida energia elétrica se este se encontrar conectado à rede de abastecimento.

Outros aspetos desta norma focam-se nas características e condições de funcionamento do dispositivo de abastecimento de energia bem como na conexão com o EV. Focam-se também na segurança dos dispositivos e de todos os seus intervenientes. [5] [6] [7]

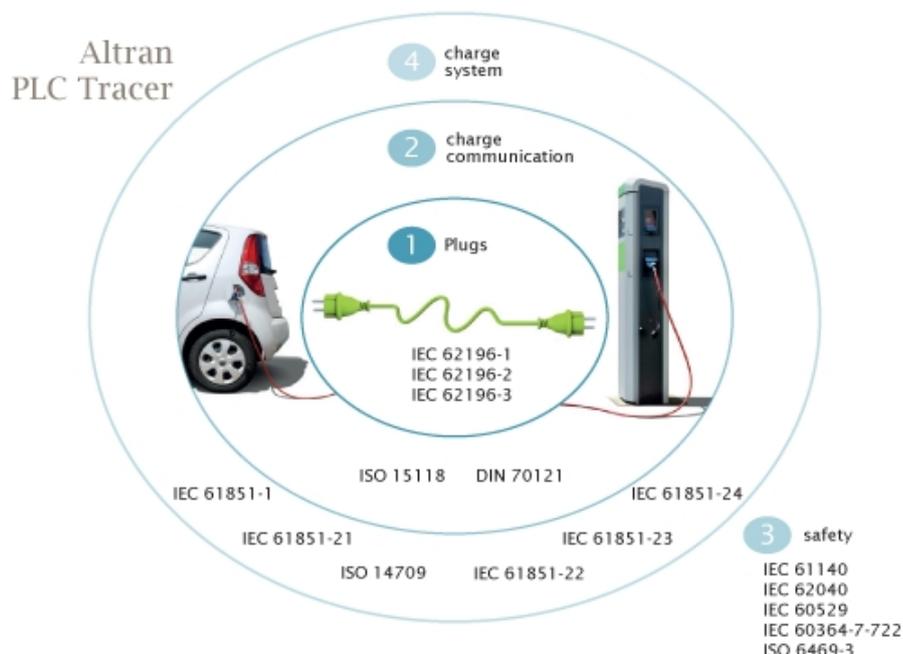


Figura 3.1: Relação entre as diferentes normas [4]

## 3.2 Topologia adotada

Neste capítulo é escolhida uma topologia a adotar que possibilite a bidirecionalidade do sistema e que, por sua vez, permita a implementação do conceito de V2G (*Vehicle-to-Grid*). É também apresentada a arquitetura do sistema para esta topologia bem como os conversores usados que permitem que o sistema seja bidirecional.

### 3.2.1 Modo de carga

A topologia em estudo adota o modo 4 (carga DC), que possibilita o chamado *Fast Charging*, em que o carregador, localizado no EVSE (equipamento de abastecimento do EV), realiza o controlo do carregamento.

Uma nota importante é que não há comunicação direta entre o controlador da comunicação do veículo elétrico (EVCC) e um medidor inteligente, ou seja, as medições devem ser trocadas entre o EVCC e o SECC (controlador da comunicação do equipamento de abastecimento) de acordo com os *Use Cases*. Estes são listas de etapas de ações e eventos que, por sua vez, definem interações entre um ator e um sistema com a finalidade de alcançar um objetivo. Neste caso em particular, definem as interações, entre os vários intervenientes, e as diversas etapas do processo de carregamento com o objetivo deste ser concluído sem a ocorrência de nenhuma falha. [12] [13] [6]

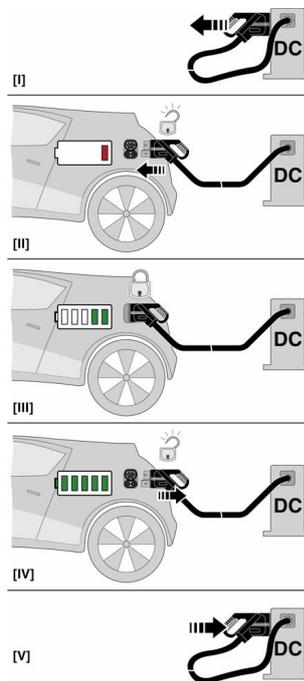


Figura 3.2: Carregamento DC - Modo 4 [14]

Características do carregamento:

- Potência: > 20kW
- Corrente máxima: 400A
  - Corrente:  $\pm 2\%$ , se a corrente for superior a 50A
  - $\pm 1\%$ , se a corrente for igual ou inferior a 50A
- Tensão máxima: 1000V
  - Tensão:  $\pm 0.5\%$
- Carregamento rápido com carregador e conversor AC/DC externos ao veículo [6]

### 3.2.2 Arquitetura do sistema

Neste tópico é sugerida uma arquitetura para o sistema que possibilite a ocorrência do V2G, ou seja, que permita a bidirecionalidade do processo de carregamento.

Inicialmente, começa-se por escolher um sistema mais geral de carregamento DC, neste caso um sistema isolado para ser mais seguro para o utilizador. O isolamento é feito com recurso a um transformador (isolador) e a figura 3.3 mostra um esquema simples do sistema de carga DC isolado.

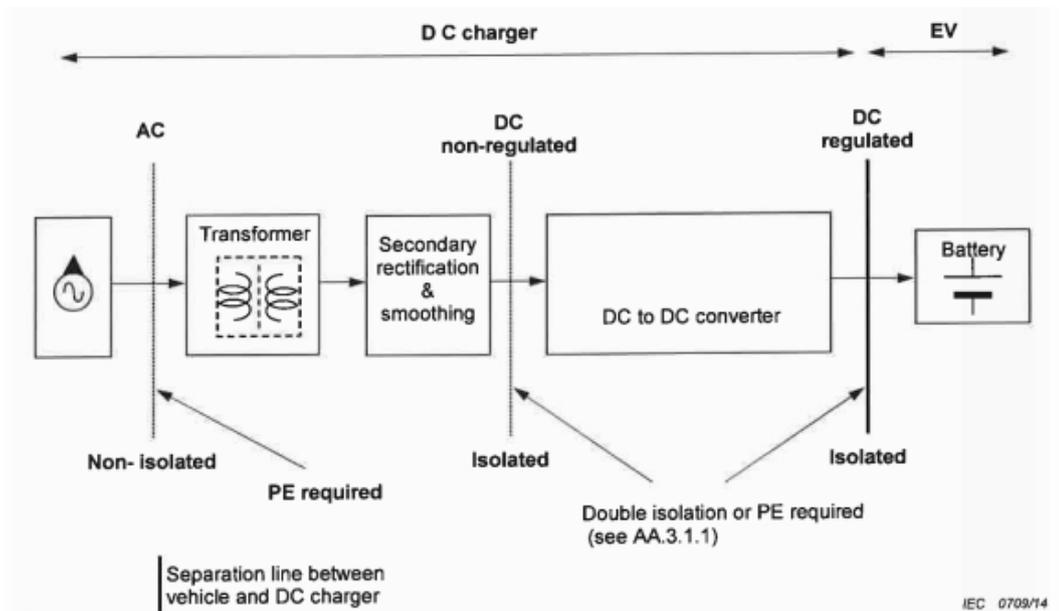


Figura 3.3: Sistema de carregamento DC isolado [6]

De seguida, é escolhido um sistema mais complexo que engloba todos os processos existentes no carregamento do EV, bem como no fornecimento de energia de volta para a rede (V2G). Neste caso opta-se pelo sistema C da norma IEC 61851-23 que consiste num sistema de carregamento DC combinado (representado na figura 3.4) e é composto pelos conversores tanto AC/DC como

DC/DC, que vão ser referidos mais à frente no documento, pelos modems PLC (existentes no carregador e no EV), que possibilitam a comunicação entre os dois intervenientes, as unidades de controlo do carregador e do EV, e diversos dispositivos de segurança.

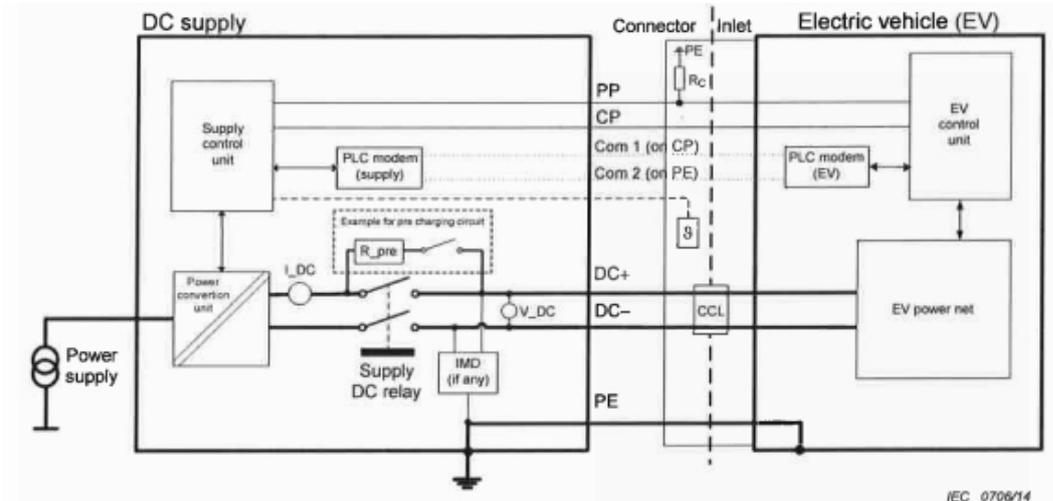


Figura 3.4: Esquemático do sistema de carregamento DC combinado (sistema C) [6]

3.2.2.1 Processo de operação e controle da solução de carregamento

Neste tópico fez-se referência a um sistema de carregamento combinado que pode ser usado com o modo 4 (carregamento DC). O processo de fornecer energia ao EV por parte do equipamento de abastecimento DC é feito através de mensagens enviadas através de PLC que seguem os passos descritos nos diagramas de sequência das figuras 3.5 (iniciar normal) e 3.6 (desligar normal).

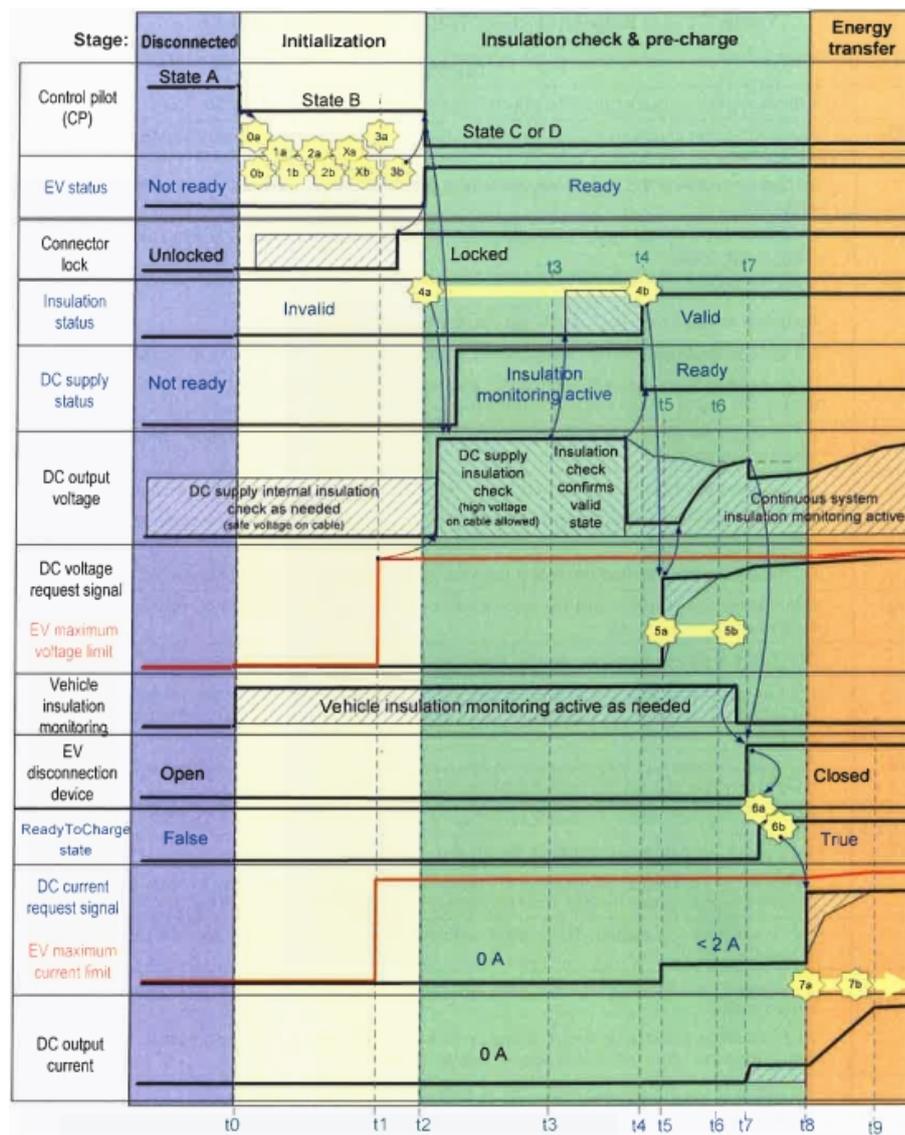


Figura 3.5: Diagrama de sequência de um iniciar normal do processo de carregamento [6]

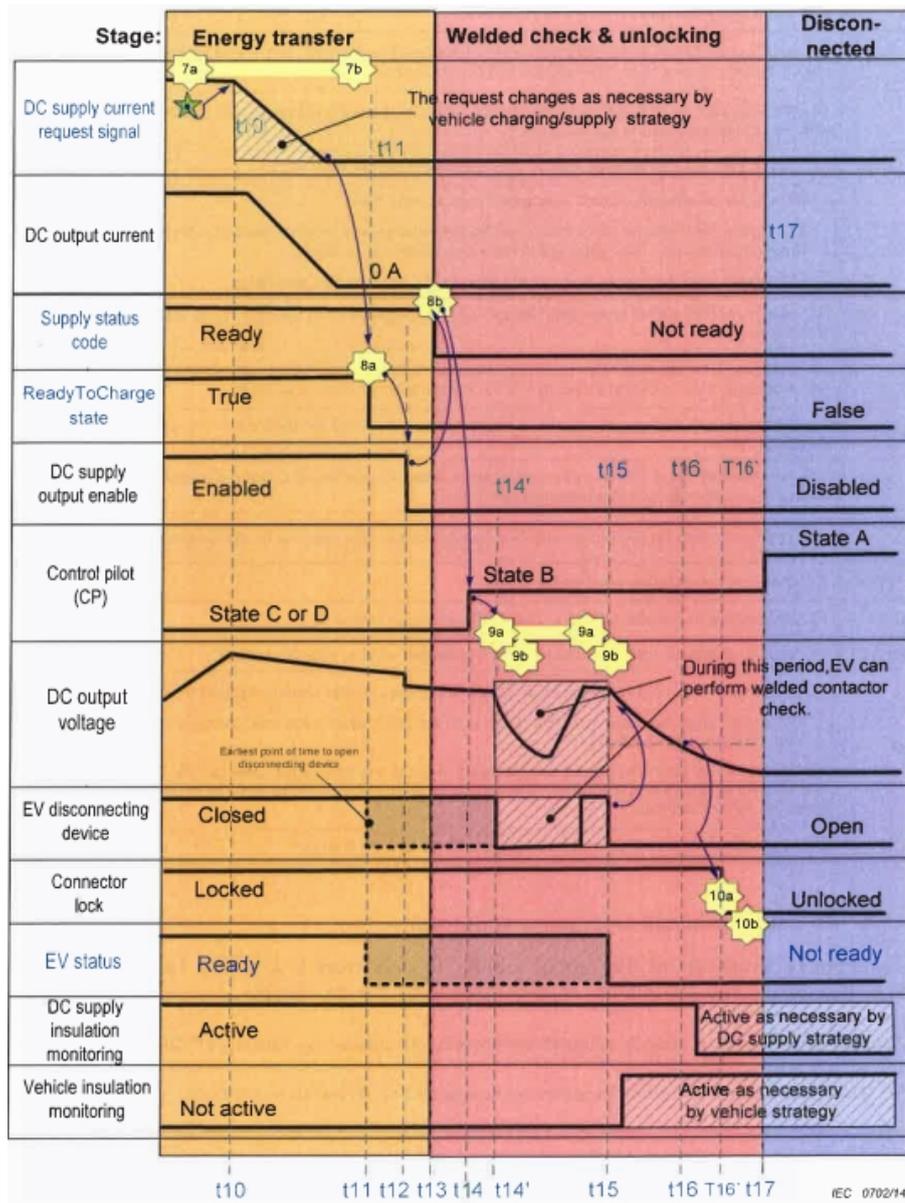


Figura 3.6: Diagrama de sequência de um desligar normal do processo de carregamento [6]

No anexo A está representada uma descrição detalhada dos diagramas de sequência apresentados (figuras 3.5 e 3.6).

### 3.2.3 Conversores propostos

Como referido, tem de se proceder à escolha dos conversores usados no sistema de carregamento. Optou-se então por usar o conjunto de conversores representado na figura 3.7, composto por um AC/DC e outro DC/DC.

Este conjunto tem como principais características:

- Potência nominal: 6kW
- Tensão do lado AC: 200V/3 fases/60Hz
- Tensão da ligação DC: 370V
  - Ripple ( $\Delta V$ ):  $\leq 18.5V$  (5%)
- Tensão da bateria (nominal): 250V
  - Ripple ( $\Delta V$ ):  $\leq 7.5V$  (3%)
  - Alcance: 215V  $\sim$  275V
- Ripple da corrente:  $\leq 0.72A$  (3%)
- Frequência (conversor AC/DC): 15kHz
- Frequência (conversor DC/DC): 50kHz
- Rendimento:  $\geq 85\%$  [43]

Na figura 3.7 está representado o conjunto de conversores proposto e a relação entre os dois conversores (AC/DC e DC/DC) num sistema trifásico. Está, de igual modo, descrito qual o sentido da tensão e da corrente na situação de carga e descarga.

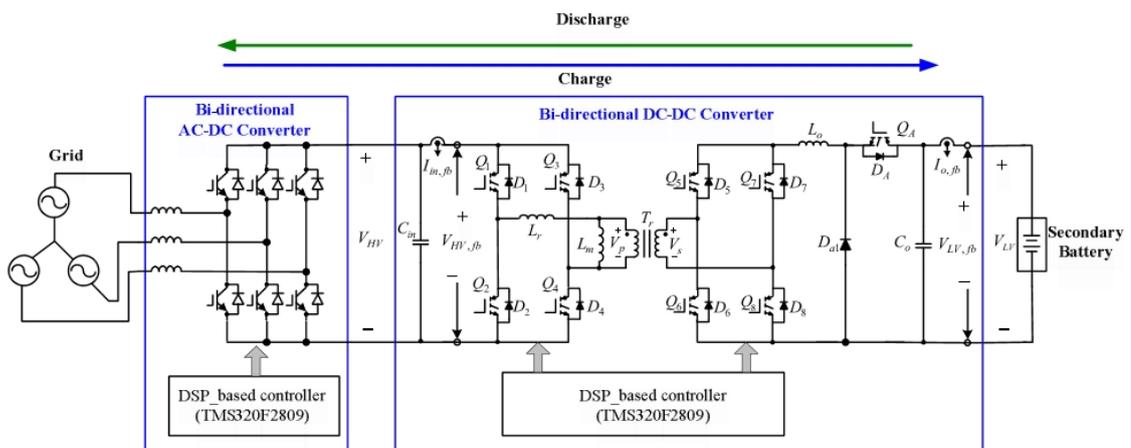


Figura 3.7: Conversores propostos [43]

### 3.2.3.1 Conversor AC/DC

O objetivo do conversor bidirecional de três fases AC/DC é proporcionar tanto uma ligação DC estável bem como menos distúrbios nas linhas de energia elétrica.

Com este conversor, durante o período de carga e descarga de alta potência, o controlo da tensão na ligação DC pode ser deteriorado. Para se combater este efeito, é usado um pequeno sinal de perturbação de carga para efetuar uma análise. De seguida, recorre-se a um compensador de carga transitória equipado no sensor de corrente da ligação DC para habilitar a capacidade de rejeição de distorções da carga. [34]

Na figura 3.8 está representado o conversor AC/DC proposto e está descrito qual o sentido da tensão e da corrente na situação de carga e descarga do sistema.

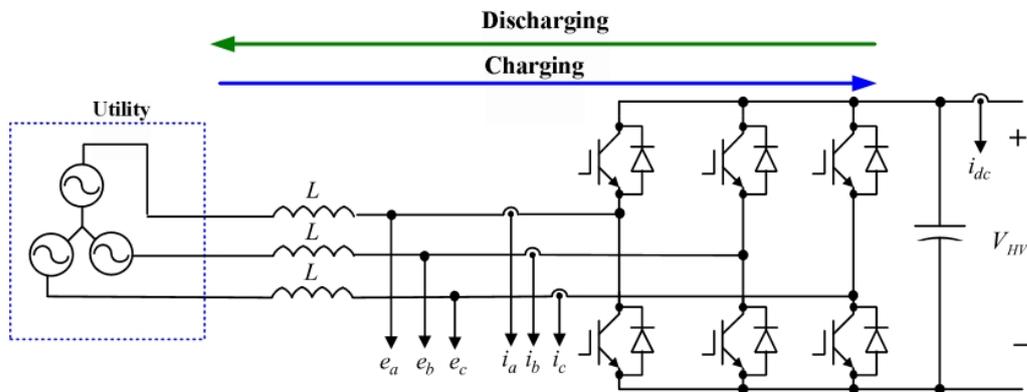


Figura 3.8: Conversor AC/DC proposto [34]

Na figura 3.9 está representado o diagrama de blocos do conversor AC/DC proposto onde é descrito o seu mecanismo de controlo. Como está representado na figura, o compensador de carga transitória é composto apenas por um filtro passa-banda, um ganho ajustável e um limitador.

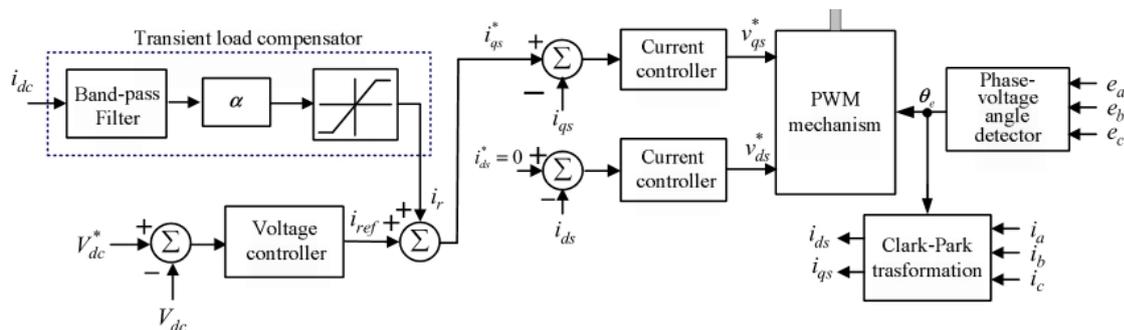


Figura 3.9: Diagrama de blocos do conversor AC/DC proposto [33]

### 3.2.3.2 Conversor DC/DC

O conversor DC/DC proposto é constituído por circuitos *full-bridge*, transformadores de alta frequência, que proporcionam ao sistema a capacidade de isolamento referida na figura 3.3, e um filtro passa-baixo localizado antes da bateria que dá a possibilidade ao sistema de controlar o fluxo de energia bidirecional. É também usado um *switch* para alterar o conversor de modo de carga para modo de descarga. [39] [41]

Na figura 3.10 está representado o conversor DC/DC proposto e está descrito qual o sentido da tensão e da corrente na situação de carga e descarga do sistema.

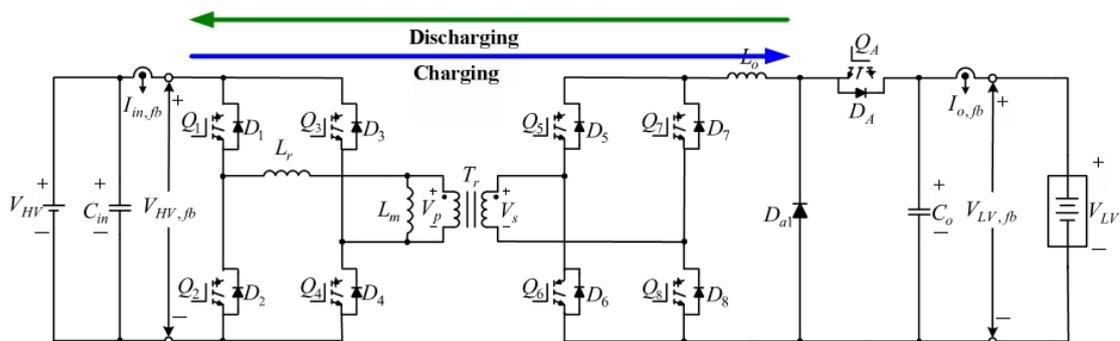


Figura 3.10: Conversor DC/DC proposto [39]

O mecanismo de controlo do conversor bidirecional DC/DC está descrito na figura 3.11 e consiste num controlador de corrente para o modo de descarga e num controlador de corrente e de tensão para o modo de carga. A figura 3.11 representa o diagrama de blocos do controlo deste conversor.

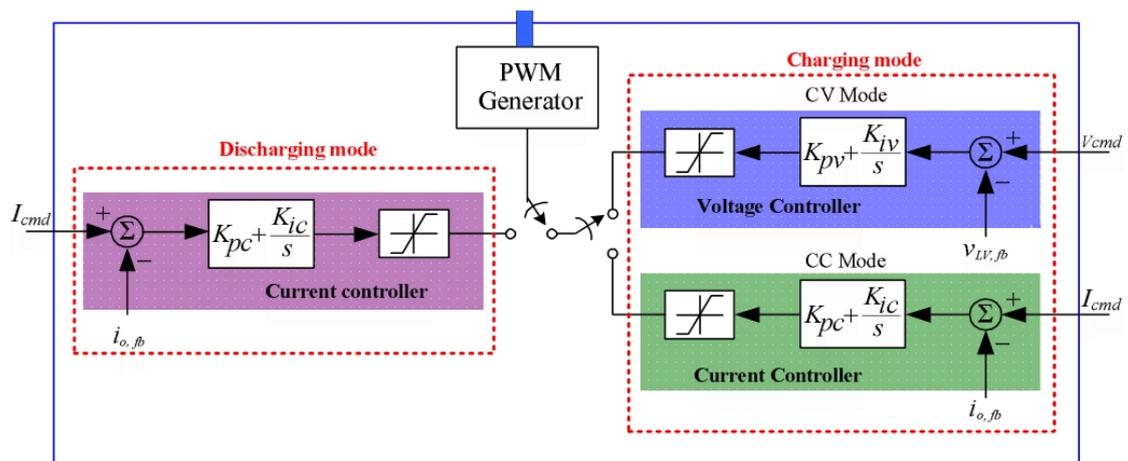


Figura 3.11: Diagrama de blocos do conversor DC/DC proposto [33]

### 3.2.4 Sistema de comunicação

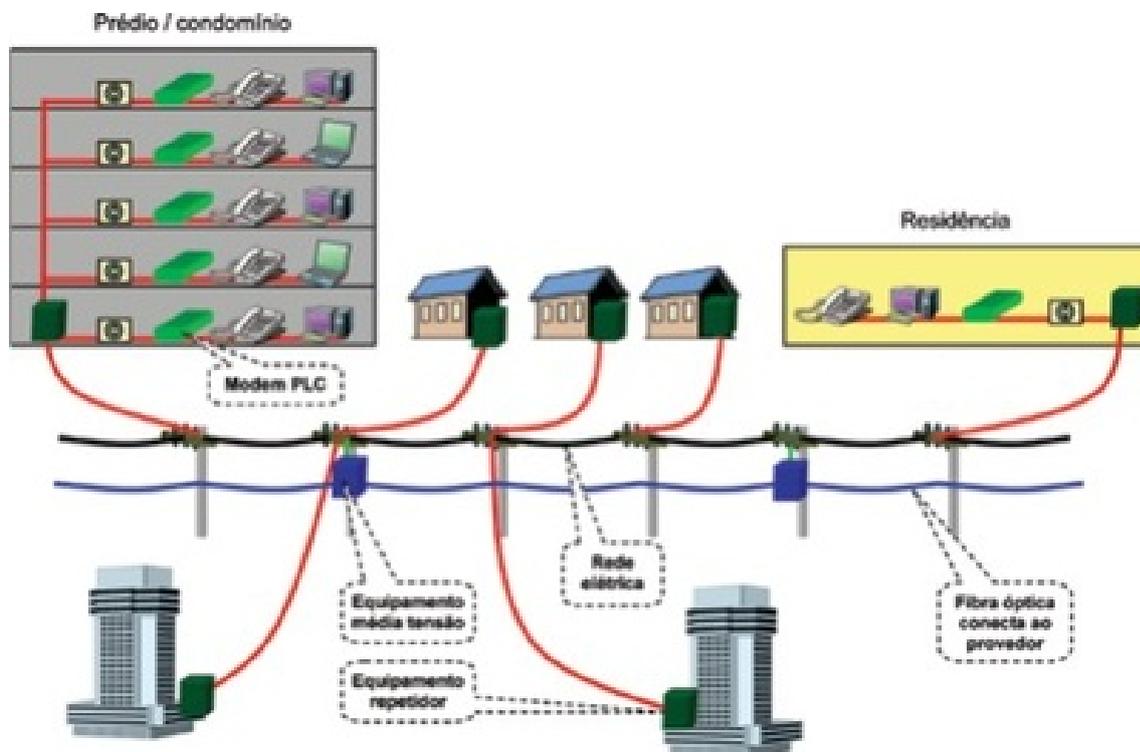


Figura 3.12: Representação do funcionamento da *PowerLine Communication* (PLC) [17]

Para se proceder à comunicação entre o carregador e o EV no sistema proposto anteriormente recorre-se à tecnologia apresentada na figura 3.10, ou seja, a *PowerLine Communication* (PLC) também conhecida como a comunicação via rede elétrica. Esta utiliza a rede de energia elétrica e consiste em transmitir dados e voz em banda larga pela rede elétrica e como utiliza uma infraestrutura já disponível, não necessita da construção de nada novo para ser implementada. Por último, este tipo de comunicação está inserido na camada 2 do modelo ISO/OSI (camada *data link*) e pode ser agregado a uma rede TCP/IP que pertence à camada 3. [17]

Para implementar a *PowerLine Communication* é então utilizado um modem PLC que irá ser analisado em pormenor no próximo tópico.

#### 3.2.4.1 Modem PLC

O modem PLC é utilizado com o intuito de permitir comunicação no sistema. Este tem por base o *HomePlug*, que consiste num conjunto de especificações via rede elétrica, que oferece capacidades únicas de desempenho e coexistência e compatibilidade com outras especificações *HomePlug*, mais precisamente o *HomePlug Green Phy*, que surgiu como uma especificação para implementar funcionalidades *Smart Grid* através de *Powerline-based networks HAN* (*Home Area Network*), desenvolvida como uma adaptação *low cost* e *low power* da especificação *HomePlug*

AV. Esta tem picos de 10 Mbits/s e é desenhada para ser implementada em medidores inteligentes e aplicações pequenas tal como os veículos elétricos *plug-in*, para que os dados possam ser partilhados entre a rede doméstica e a concessionária de energia.

Os requisitos mais implementados da especificação HPGP são o facto de ser *low cost* e *low power*, a comunicação segura e o tamanho compacto. Por fim, a HPGP usa cerca de 75% menos energia que a *HomePlug AV* e é também compatível com a norma IEE 1901 (norma para dispositivos de comunicação de alta velocidade através de linhas de energia elétrica).

O modem PLC é implementado através de um circuito integrado, o QCA7000 que é totalmente compatível com HPGP. O chip em causa usa um modo de comunicação OFDM (ROBO) que oferece cobertura estendida e comunicação confiável através de redes *powerline*. É um sistema completo num circuito integrado que proporciona uma comunicação em linha de energia processador/transcetor (transmissor e recetor) com dados de entrada e saída em série e paralelo. Foi então concebido para suportar aplicações HPGP e estas também incluem *Smart Grid*. [18]

Entre as suas aplicações o QCA7000 é usado em:

- *Smart Meters*;
- Sistemas de gestão de energia;
- Termostatos programáveis;
- Dispositivos de medição remotos;
- Paineis solares;
- Aplicações industriais. [18]

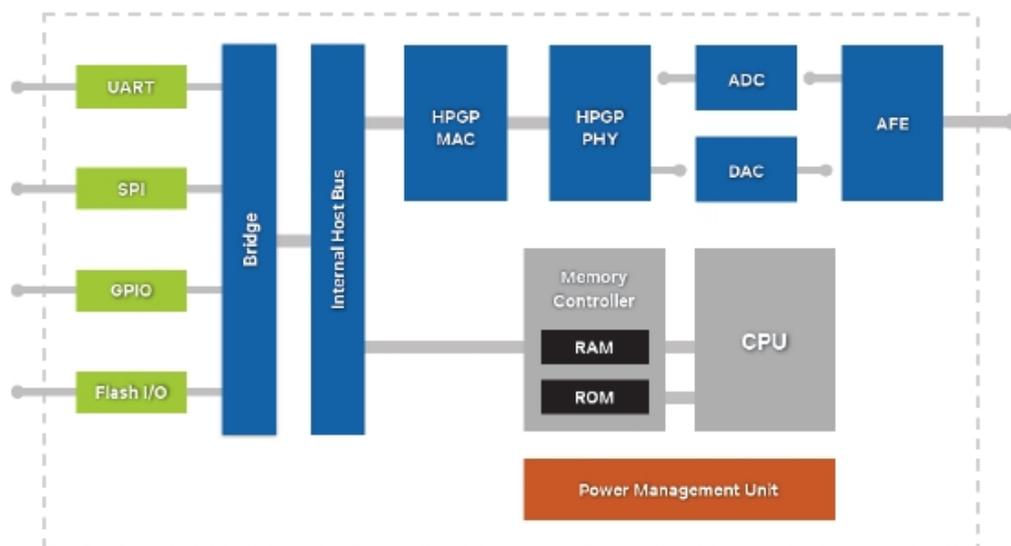


Figura 3.13: Diagrama de blocos funcional do QCA7000 [18]

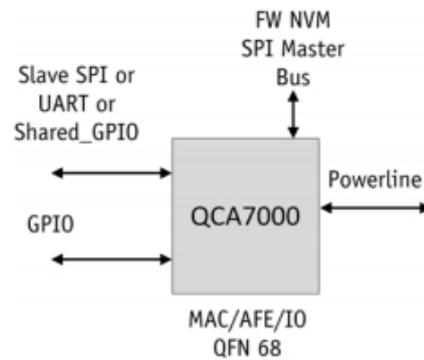


Figura 3.14: Diagrama de blocos simplificado do QCA7000 [18]

Para a implementação do modem PLC pode ser usada uma placa *EVAcharge SE* (da empresa *I2SE*), que contém comunicação PLC por CP (*control pilot*) com geração de PWM e integração do *HomePlug Green Phy* e esta pode atuar no EVSE e no EV. Nesta placa tem de ser implementada uma *stack* da ISO15118 através da *ECommStack* (da empresa *Auronik*), que consiste num software que permite a realização da comunicação e a torna compatível entre o ponto de carga e o veículo elétrico (apoia o "*Plug and Charge*"). [3]

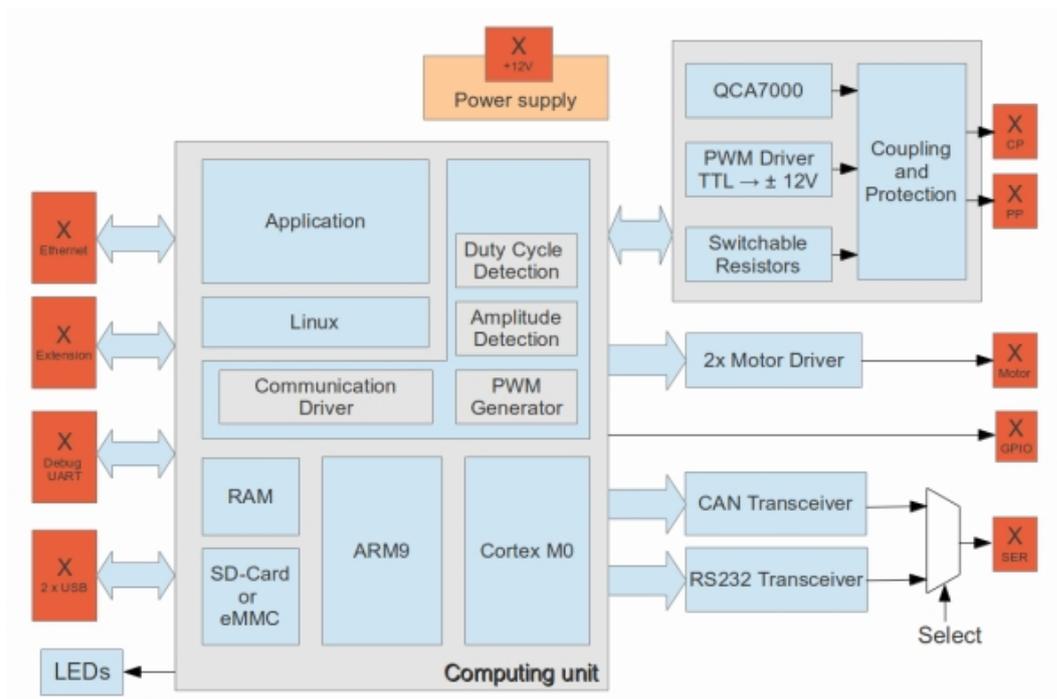


Figura 3.15: Diagrama de blocos funcional do *EVAcharge SE* [3]

### 3.2.5 Processo de operação e controlo de outra solução de carregamento

Para o modo de carregamento 4 existem mais soluções de carregamento para além da apresentada na figura 3.4. Neste tópico é apresentada uma solução básica de carregamento DC (sistema B) que é constituída por uma unidade de controlo do carregador DC, os conversores propostos anteriormente, uma unidade de controlo do EV, entre outros componentes.

A figura 3.16 representa o diagrama desta solução básica de carregamento DC e é apresentado o processo de operação e controlo desta solução.

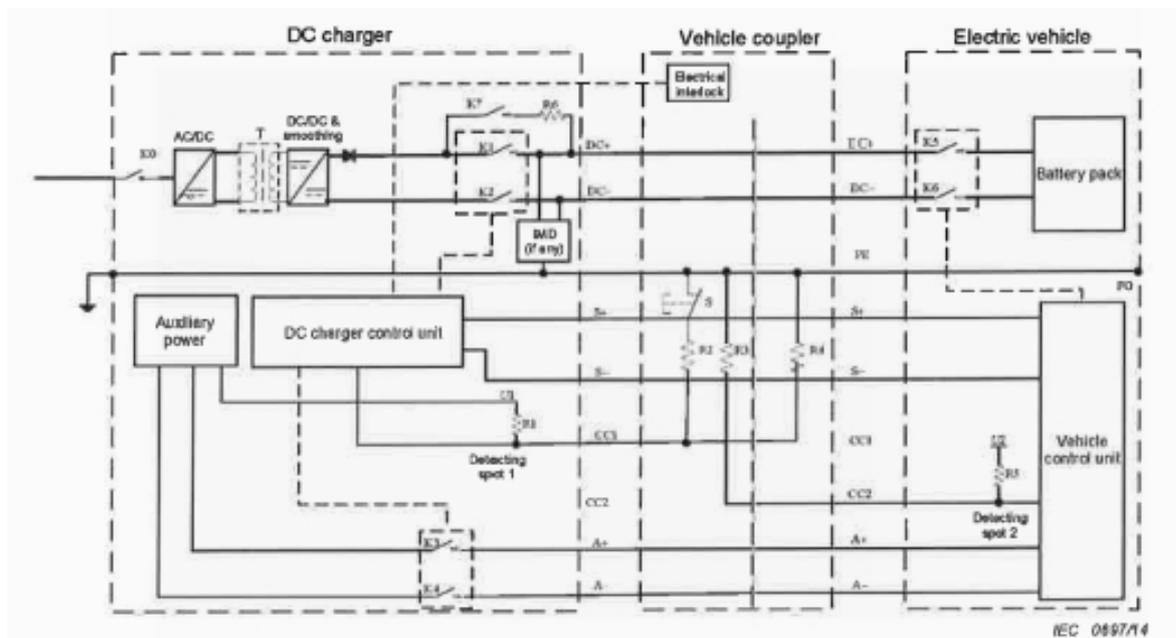


Figura 3.16: Diagrama de outra solução básica de carregamento DC (sistema B) [6]

**1) Função de proximidade:** quando o conector do veículo é inserido, a função é ativada. Uma vez detetada a alteração da tensão de 12V para 6V, o veículo confirma a presença do conector.

**2) Confirmação do estado de conexão:** a unidade de controlo de carregamento DC pode determinar se o conector do veículo está bem conectado à entrada do veículo pela medição da tensão no ponto de deteção 1 (diagrama).

**3) Auto-deteção do carregador:** são fechados k3 e k4 e é iniciado o circuito auxiliar fornecedor de baixa tensão, o EV e a sua unidade de controlo verificam se a interface do veículo está bem conectada através da medição da tensão no ponto de deteção 2 (diagrama).

**4) Carregador pronto:** são fechados k5 e k6 pelo controlo do veículo e k1 e k2 pelo controlo do carregador para ser iniciado o fornecimento de energia.

**5) Fase de carregamento:** durante o processo, a unidade de controlo do veículo envia o nível de bateria para a unidade de controlo do carregador. A unidade de controlo do carregador ajusta a tensão e corrente conforme as necessidades do veículo e da sua bateria.

**6) Terminar o carregamento em condições normais:** a unidade de controlo do veículo determina quando o processo deve terminar enviando mensagens a informar que a bateria já está completamente carregada. Quando o carregador para são abertos k1, k2, k5 e k6, quando a comunicação termina k3 e k4 são abertos e é libertado o intertravamento elétrico e finalmente pode ser desligado o acoplador do veículo e o processo é terminado. [6]

No anexo B está representada a definição dos estados de carregamento segundo o sistema B e os parâmetros recomendados para a sua segurança. Estão, de igual modo, representados os diagramas de sequência do processo de carregamento bem como os seus diagramas de fluxo.

## Capítulo 4

# Análise dos *Use Cases*

### 4.1 Introdução à norma ISO 15118

A norma ISO 15118 especifica toda e qualquer comunicação efetuada entre os EVs e o equipamento de abastecimento dos veículos elétricos (EVSE). Esta norma também diz respeito à comunicação entre outros dois componentes, o controlador da comunicação do EV (EVCC) e o controlador da comunicação do equipamento de abastecimento (SECC). A ISO 15118, ao contrário do que se possa pensar, também pode ser orientada a outros veículos mesmo não sendo estes elétricos.

Esta norma especifica assim termos e definições gerais, requisitos e os *Use Cases* do processo de carga (que são listas de etapas de ações e eventos que, por sua vez, definem interações entre um ator e um sistema com a finalidade de alcançar um objetivo, isto é, neste caso em particular, definem as interações, entre os vários intervenientes, e as diversas etapas do processo de carregamento com o objetivo deste ser concluído sem a ocorrência de nenhuma falha). Com isto, proporciona uma visão generalizada dos aspetos que intervêm no processo de carregamento, pagamento e nivelamento da carga. Uma das suas finalidades, e a mais importante para este projeto, é então a implementação do chamado *Vehicle-to-Grid* (V2G). [8] [9] [10]

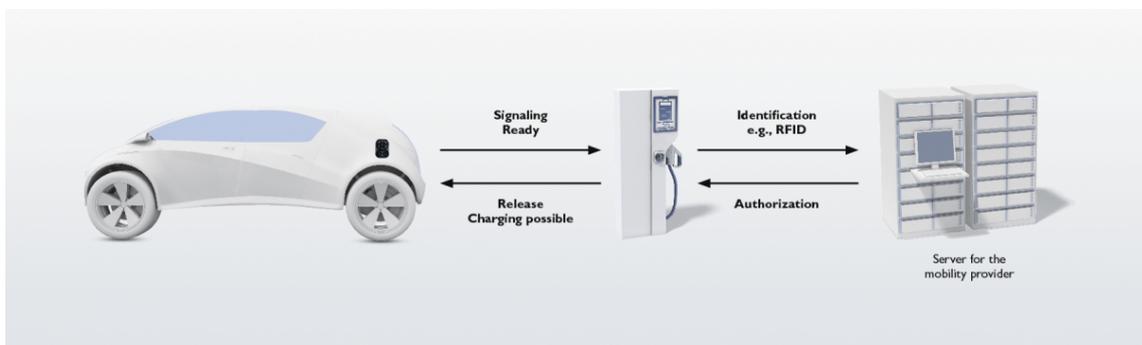


Figura 4.1: Representação da norma ISO 15118 [11]

## 4.2 Comunicação

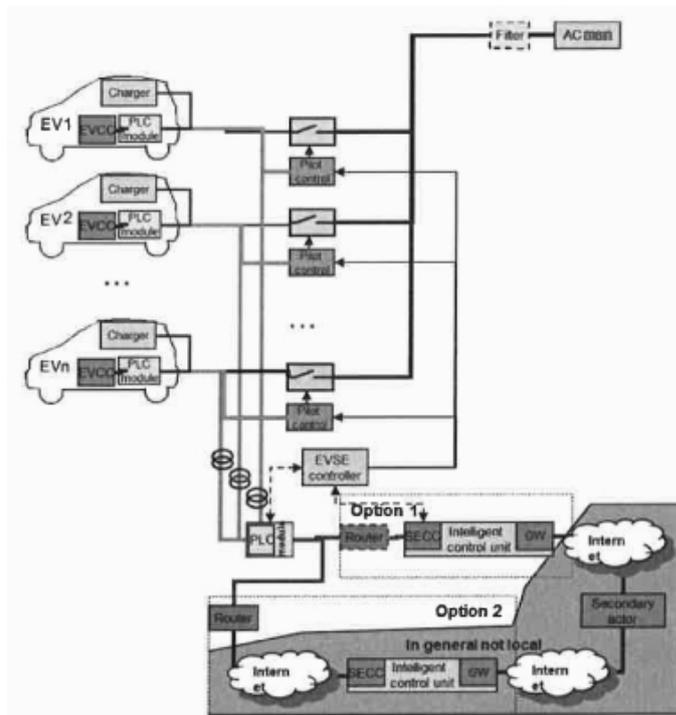


Figura 4.2: Configuração da arquitetura de comunicação [8]

Neste tópico são apresentadas as diversas características da comunicação e da sua configuração.

- A manipulação do CP é descrita na norma IEC 61851-1. Dependendo da configuração da infraestrutura, cada *duty cycle* indica ou a necessidade de comunicação de alto nível ou a máxima potência de saída;
- Os modems PLC precisam de estar próximos uns dos outros, de acordo com a norma ISO 15118-3. Dependendo da tecnologia PLC, podem ser necessários elementos adicionais no sistema;
- Existe um modem PLC por saída ou então um modem PLC por múltiplas saídas;
- Existe um SECC por saída ou então um SECC por múltiplas saídas que controla a comunicação de todos os EVCCs;
- SECC pode necessitar de uma aplicação *gateway* para trocar informação com um ator secundário. A entidade que implementa o SA está geralmente localizada num local diferente da entidade do SECC.
- Comunicação opcional entre o EVCC IP e o HAN através do módulo PLC ou do SECC. [8]

### 4.3 Arquitetura do sistema de comunicação

Este subitem diz respeito à parte da norma ISO 15118 que é organizada através da arquitetura representada na figura 4.3. O sistema de comunicação é dividido em duas partes, a camada física e a subcamada MAC pertencente à camada *data link*. A figura 4.3 representa de forma organizada o modelo ISO/OSI do sistema de comunicação e as suas camadas. [10]

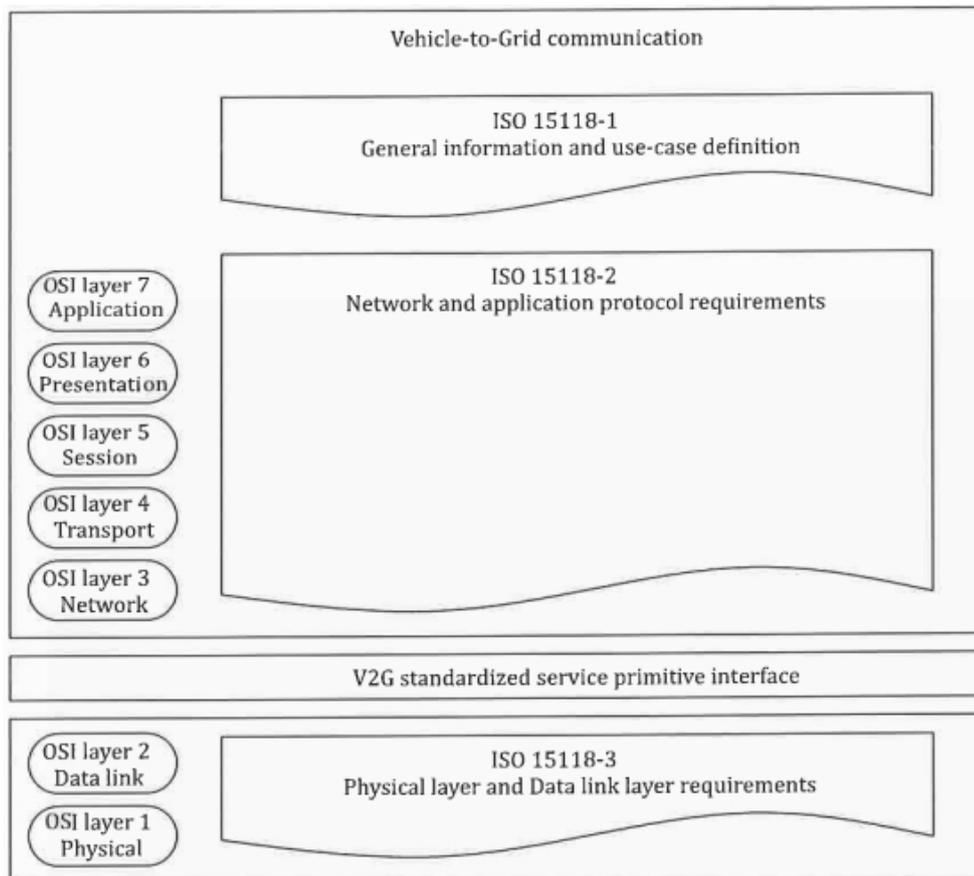


Figura 4.3: Camadas do sistema de comunicação [10]

No anexo C está representada a descrição das entidades, organizações e relações da comunicação bem como o diagrama de fluxo do processo de carregamento.

## 4.4 Segurança

Na figura 4.4 estão representados quais os requisitos de segurança que cada *Use Case* tem de respeitar para que não haja falhas no processo de carregamento. Entre os requisitos encontra-se a acessibilidade, a autenticidade, a confidencialidade e privacidade, a integridade, a confiabilidade e a disponibilidade.

No.	Use case element name / grouping	Accountability	Authenticity	Confidentiality and Privacy	Integrity	Reliability and Availability
A						
A1	Begin of charging process with forced high-level communication					
A2	Begin of charging process with concurrent IEC61851-1 and high-level communication					
B						
B1	EVCC/SECC communication setup					
C						
C1	Certificate update		x	x	x	x
C2	Certificate installation		x	x	x	x
D						
D1	Authorisation using Contract Certificates performed at the EVSE		x	x	x	x
D2	Authorisation using Contract Certificates performed with help of SA		x	x	x	x
D3	Authorisation at EVSE using external credentials performed at the EVSE		x		x	x
D4	Authorisation at EVSE using external credentials performed with help of SA		x		x	x
E						
E1	AC charging with load levelling based on High Level Communication		x		x	x
E2	Optimized charging with scheduling to secondary actor		x	x	x	x
E3	Optimized charging with scheduling at EV		x	x	x	x
E4	DC charging with load levelling based on high-level communication		x		x	x
E5	Resume to Authorised Charge Schedule		x		x	x
F						
F0	Charging loop		x		x	x
F1	Charging loop with metering information exchange	x	x	x	x	x
F2	Charging loop with interrupt from the SECC		x	x	x	x
F3	Charging loop with interrupt from the EVCC or user		x	x	x	x
F4	Reactive power compensation		x	x	x	x
F5	Vehicle to grid support	x	x	x	x	x
G						
G1	Value added services					
G2	Charging details		x	x	x	
H						
H1	End of charging process				x	x

Figura 4.4: Elementos dos *Use Cases* e requisitos de segurança [8]

## 4.5 Análise

Neste tópico são classificados os *Use Cases* que fazem parte do sistema de comunicação entre o EVCC e o SECC e que a controlam. Esta comunicação é definida tanto na norma ISO 15118-2 como na ISO 15118-3.

O processo de carga separa-se em oito grupos que permitem a classificação dos *Use Cases* como pode ser visto na figura 4.4. Para cada grupo funcional existem várias alternativas possíveis que os completam.

A	Start of charging process	No.	Use case element name / grouping
B	Communication setup	A1	Begin of charging process with forced High Level Communication
C	Certificate Handling	A2	Begin of charging process with concurrent IEC 61851-1 and High Level Communication
D	Identification, Authentication and Authorisation	B1	EVCC/SECC communication setup
E	Target setting and charge scheduling	C1	Certificate update
F	Charge controlling and Re-scheduling	C2	Certificate installation
G	Value-added services	D1	Authorization using Contract Certificates performed at the EVSE
H	End of charging process	D2	Authorization using Contract Certificates performed with help of SA
		D3	Authorization at EVSE using external credentials performed at the EVSE
		D4	Authorization at EVSE using external credentials performed with help of SA
		E1	AC charging with load levelling based on High Level Communication
		E2	Optimized charging with scheduling to secondary actor
		E3	Optimized charging with scheduling at EV
		E4	DC charging with load levelling based on High Level Communication
		E5	Resume to Authorized Charge Schedule
		F0	Charging loop
		F1	Charging loop with metering information exchange
		F2	Charging loop with interrupt from the SECC
		F3	Charging loop with interrupt from the EVCC or user
		No.	Use case element name / grouping
		F4	Reactive power compensation
		F5	Vehicle to grid support
		G1	Value added services
		G2	Charging details
		H1	End of charging process

Figura 4.5: Elementos dos *Use Cases* [8]

No anexo D está representado o mapa de mensagens do processo de carregamento bem como os seus parâmetros e o tipo de variáveis enviadas e recebidas segundo a norma DIN 70121, na qual se baseia a ISO 15118.

### 4.5.1 Início do processo de carregamento

O *Use Case* (ID: A1) que diz respeito ao início do processo de carregamento AC ou DC com comunicação de alto nível forçada (ISO 15118 em conformidade com a IEC 61851-1) tem como principal objetivo o estabelecimento da comunicação referida no capítulo 3. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC.

Este *Use Case* cobre o sinal do PWM inicial proveniente do EVSE com um *duty cycle* de 5%, que é o requisito tanto para a comunicação de alto nível bem como para os modos 3 e 4 de carregamento. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

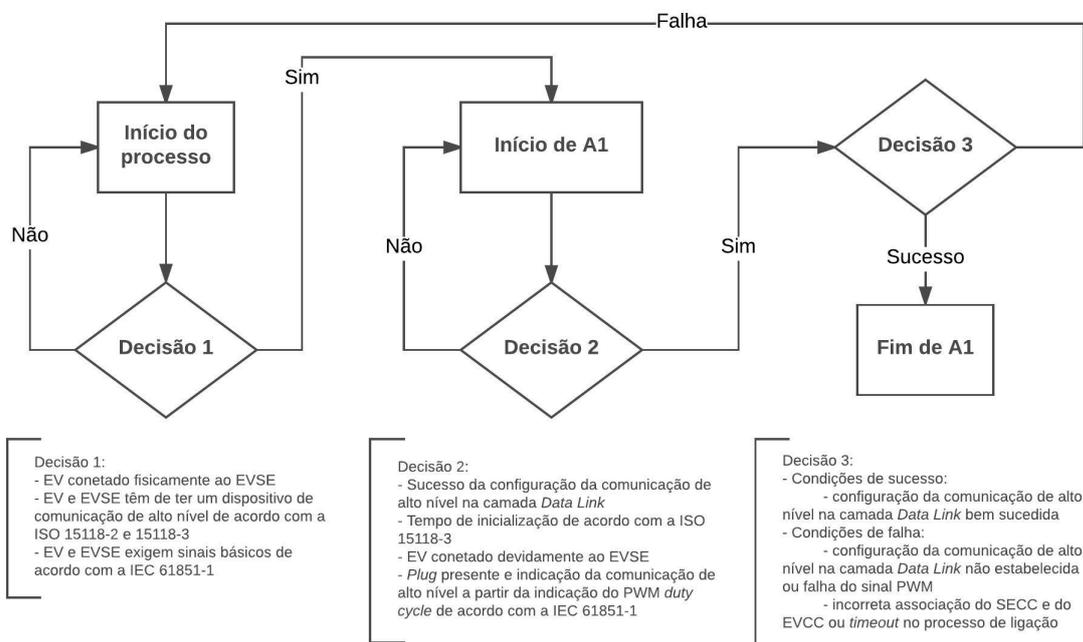


Figura 4.6: *Use Case* A1

O *Use Case* (ID: A2) que diz respeito ao início do processo de carregamento AC com comunicação de alto nível em simultâneo com a norma IEC 61851-1 tem como principal objetivo o estabelecimento da comunicação referida para o modo 3 de carregamento. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

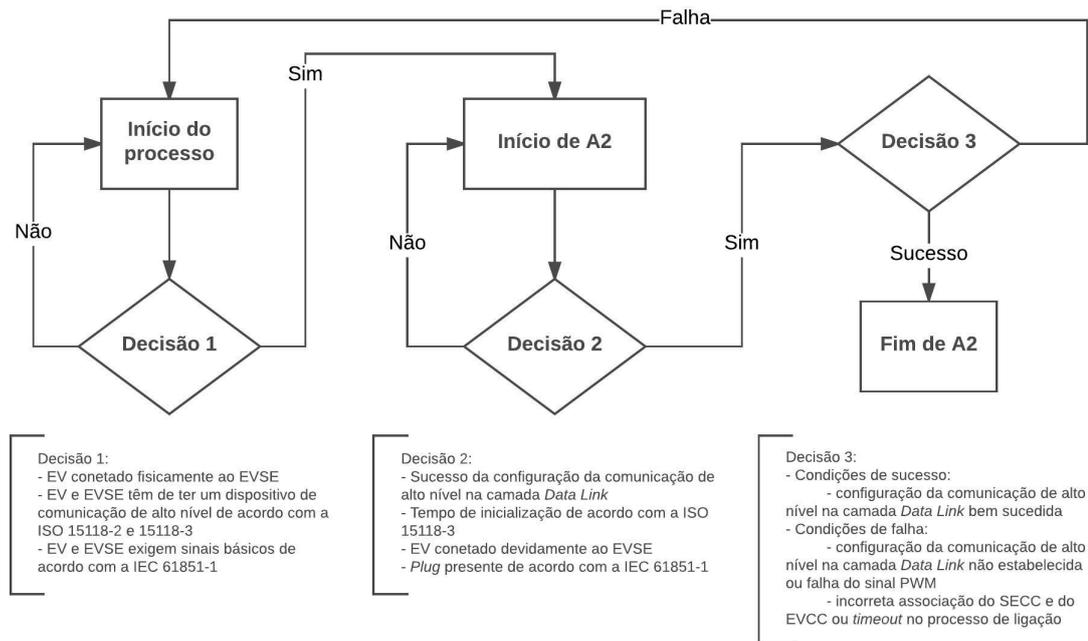


Figura 4.7: *Use Case* A2

### 4.5.2 Configuração da comunicação

Este *Use Case* (ID: B1) que diz respeito à configuração da comunicação entre o EVCC e o SECC tem como principal objetivo estabelecer esta comunicação e a sua correta associação. Os atores primários envolvidos são o EVCC e o SECC e não existe qualquer troca de informação entre ambos na camada de aplicação. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

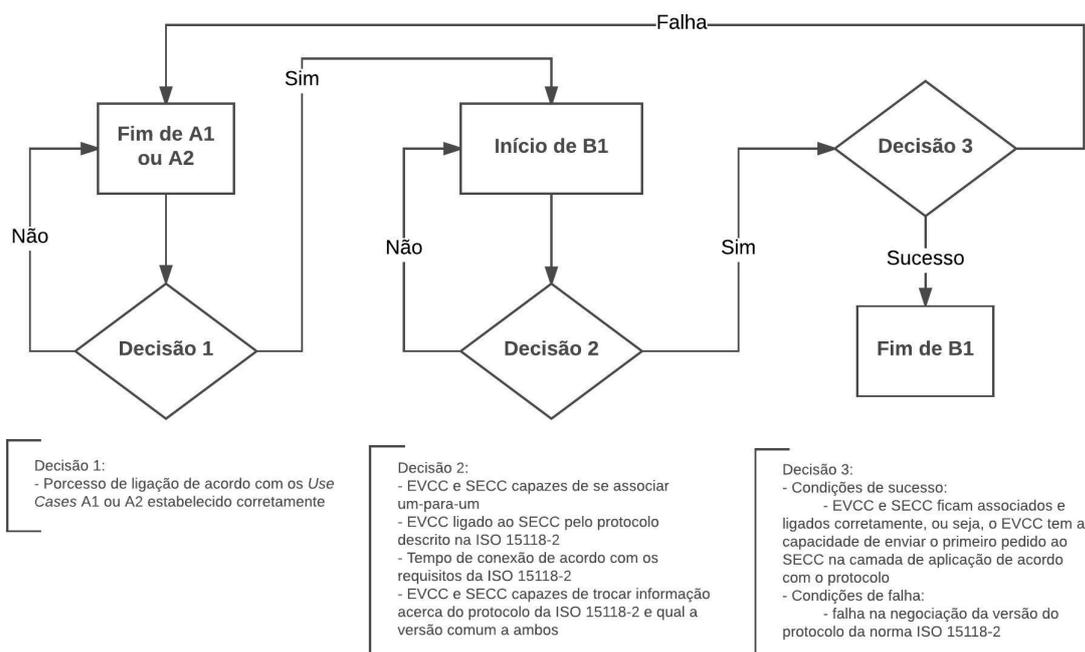


Figura 4.8: *Use Case* B1

### 4.5.3 Tratamento de certificados

#### 4.5.3.1 Update do certificado

Este *Use Case* (ID: C1) que diz respeito ao *update* dos certificados tem como principal objetivo substituir o certificado expirado ou inválido no EV por um novo e válido a partir do ator secundário. Os atores primários envolvidos são o EVCC e o SECC, por outro lado os atores secundários são o EMOCH, o FO e o *E-Mobility Operator*.

O *Use Case* cobre o *update* de certificados válidos no EV, portanto o EVCC inicia o processo estabelecendo uma linguagem de alto nível com o SECC para recuperar um novo certificado proveniente do ator secundário. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

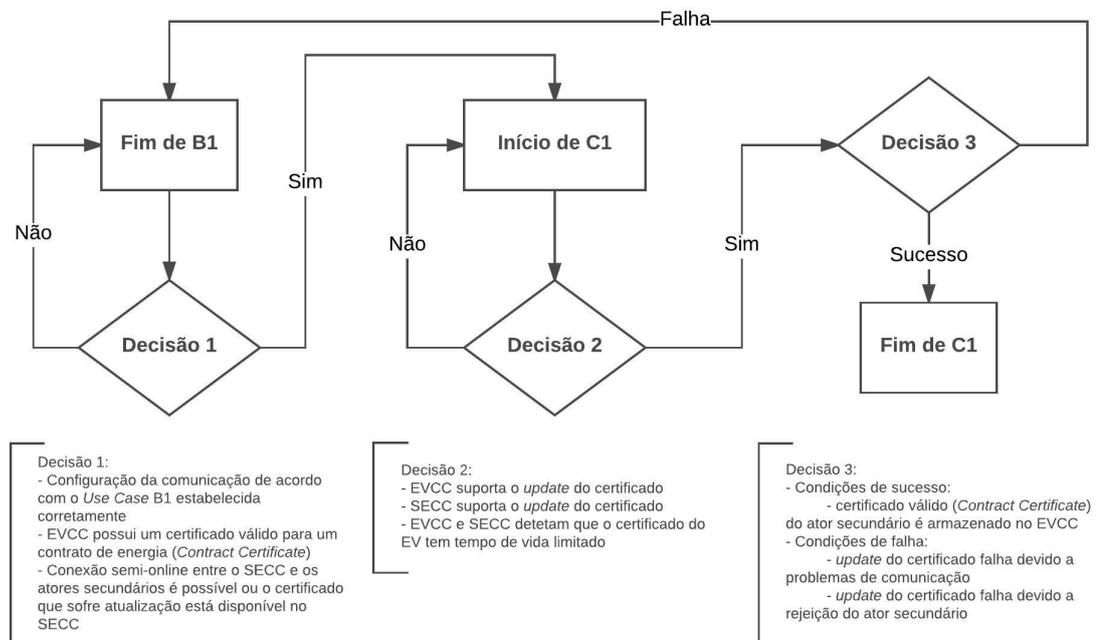


Figura 4.9: *Use Case* C1

### 4.5.3.2 Instalação do certificado

Este *Use Case* (ID: C2) que diz respeito à instalação dos certificados tem como principal objetivo instalar um novo certificado no EV a partir do ator secundário. Os atores primários envolvidos são o EVCC e o SECC, por outro lado os atores secundários são o EMOCH, o FO e o *E-Mobility Operator*.

O *Use Case* cobre a instalação de certificados (*Contract Certificate*) no EV, portanto o EVCC inicia o processo estabelecendo uma linguagem de alto nível com o SECC para recuperar um novo certificado proveniente do ator secundário. O EV é identificado por usar um certificado (*OEM Provisioning Certificate*) que tenha sido instalado pelo OEM anteriormente. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

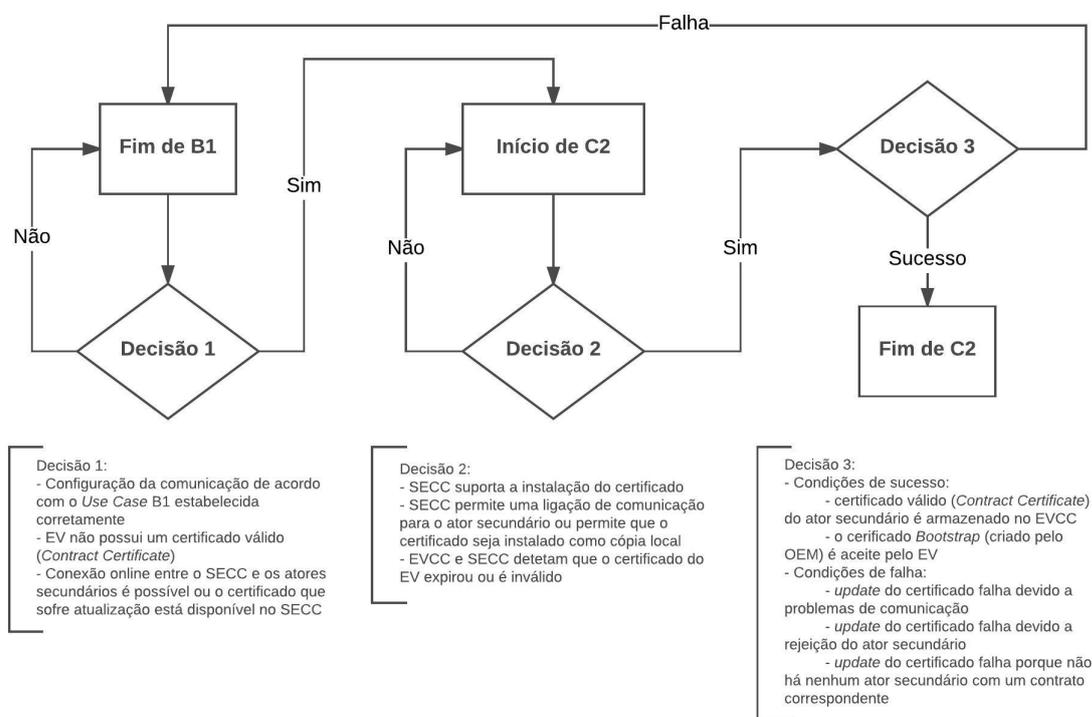


Figura 4.10: *Use Case* C2

### 4.5.4 Identificação e autorização

O EVSE identifica-se ao EV e procede à autorização para verificar se o EV pode ser carregado. A figura seguinte mostra diferentes exemplos de cenários para os processos de identificação e autorização.

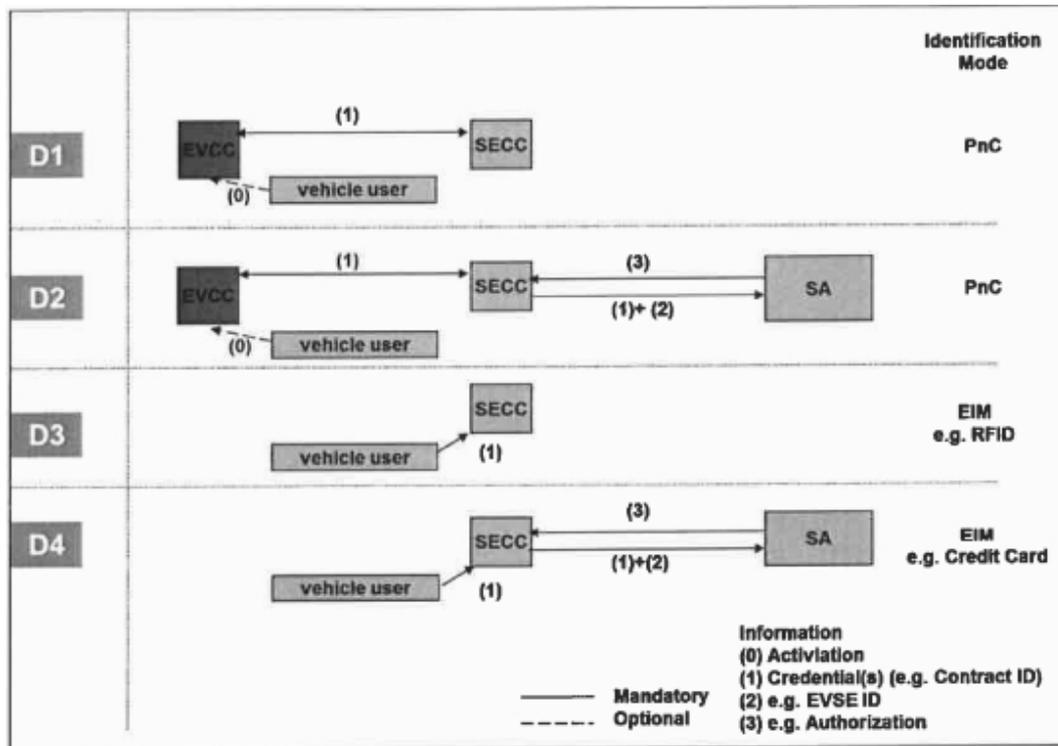


Figura 4.11: Cenários para a identificação e autorização [8]

Este *Use Case* (ID: D1) que diz respeito à autorização, com recurso a *Contract Certificates*, realizada no EVSE tem como principal objetivo verificar a validade do contrato com recurso ao conjunto de mensagens da ISO 15118-2 no EVSE. Os atores primários envolvidos são o EVCC, o EV, o SECC, o EVSE e o HMI, por outro lado os atores secundários são o EMOCH e o *E-Mobility Operator*. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

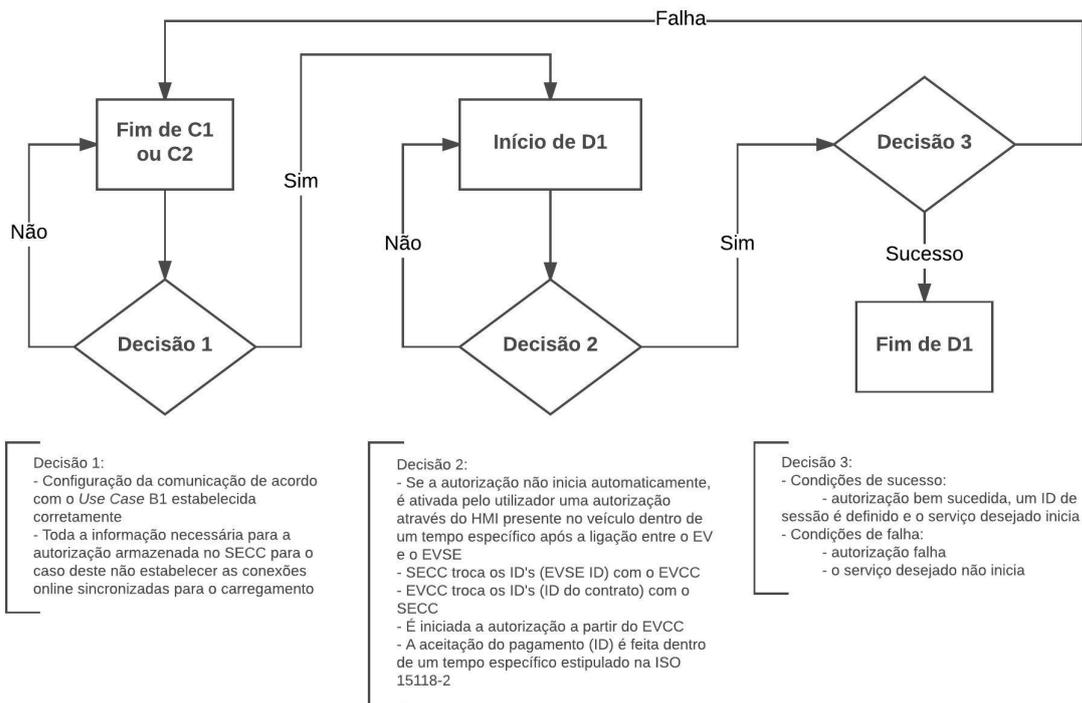


Figura 4.12: *Use Case* D1

Este *Use Case* (ID: D2) que diz respeito à autorização, com recurso a *Contract Certificates*, realizada com ajuda do SA tem como principal objetivo verificar a validade do contrato com recurso ao conjunto de mensagens da ISO 15118-2 provenientes do ator secundário. Os atores primários envolvidos são o EVCC, o EV, o SECC, o EVSE e o HMI, por outro lado os atores secundários são o EMOCH e o *E-Mobility Operator*. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

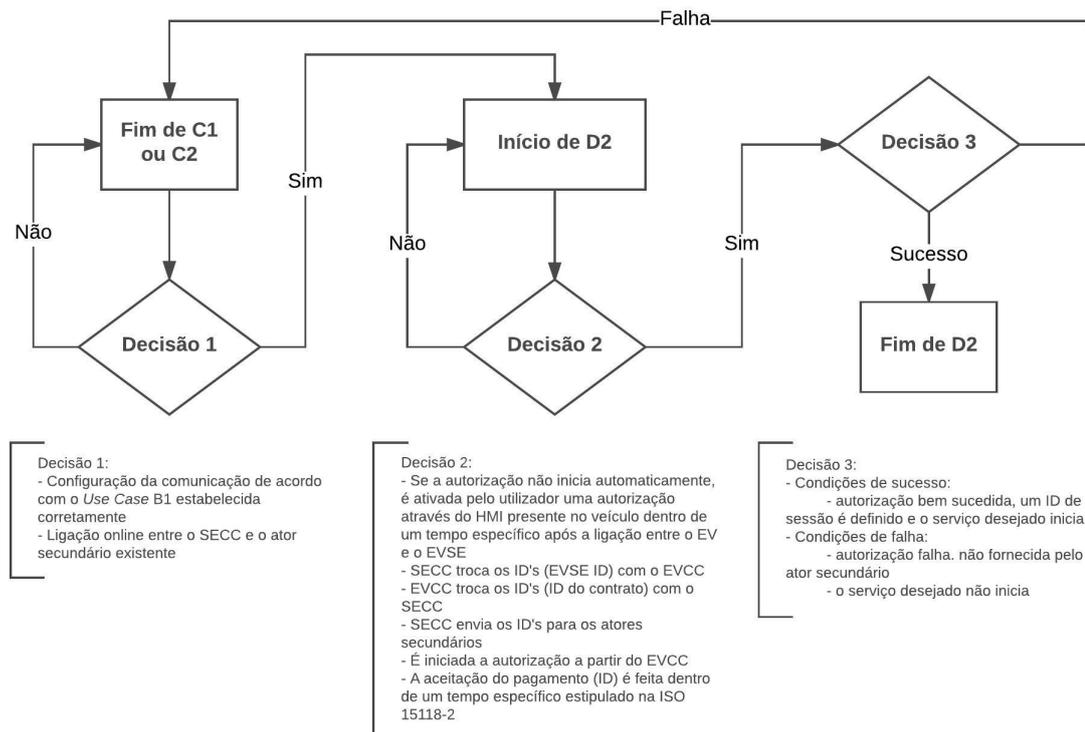


Figura 4.13: *Use Case* D2

Este *Use Case* (ID: D3) diz respeito à autorização no EVSE, com recurso a credenciais externas realizadas no EVSE (externas ao veículo). Os atores primários envolvidos são o Utilizador, o EVSE, o SECC e o HMI, por outro lado os atores secundários são o EMOCH e o *E-Mobility Operator*. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

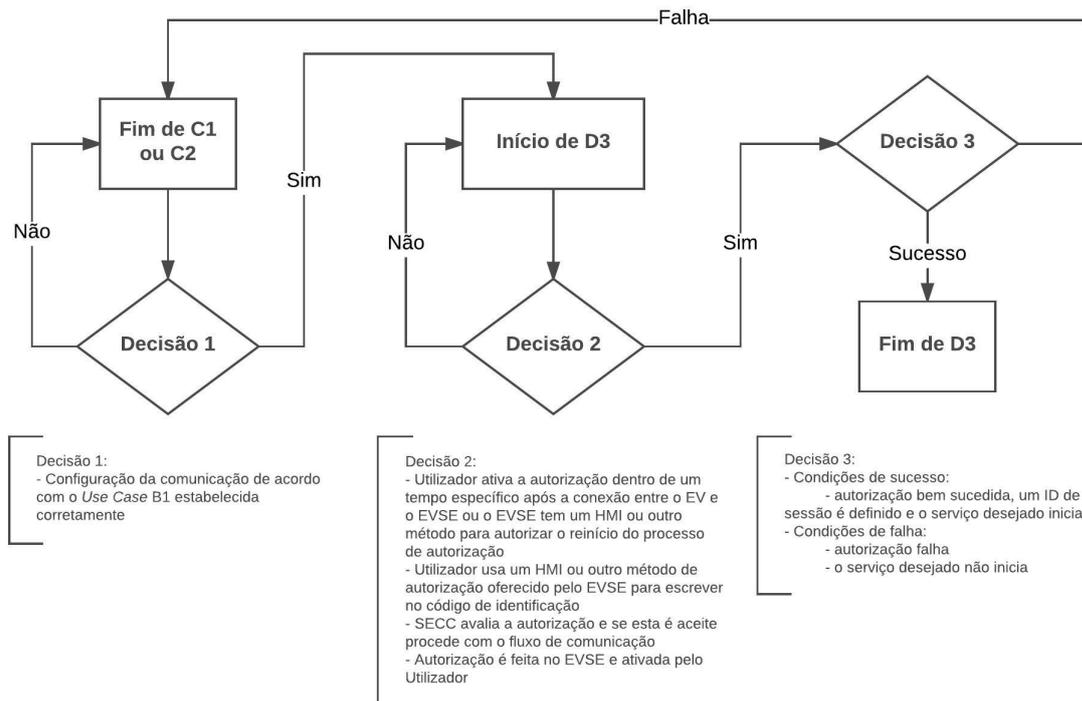


Figura 4.14: *Use Case* D3

Este *Use Case* (ID: D4) diz respeito à autorização no EVSE, com recurso a credenciais externas realizadas com ajuda do SA (externas ao veículo). Os atores primários envolvidos são o Utilizador, o EVSE, o SECC e o HMI, por outro lado os atores secundários são o EMOCH e o *E-Mobility Operator*. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

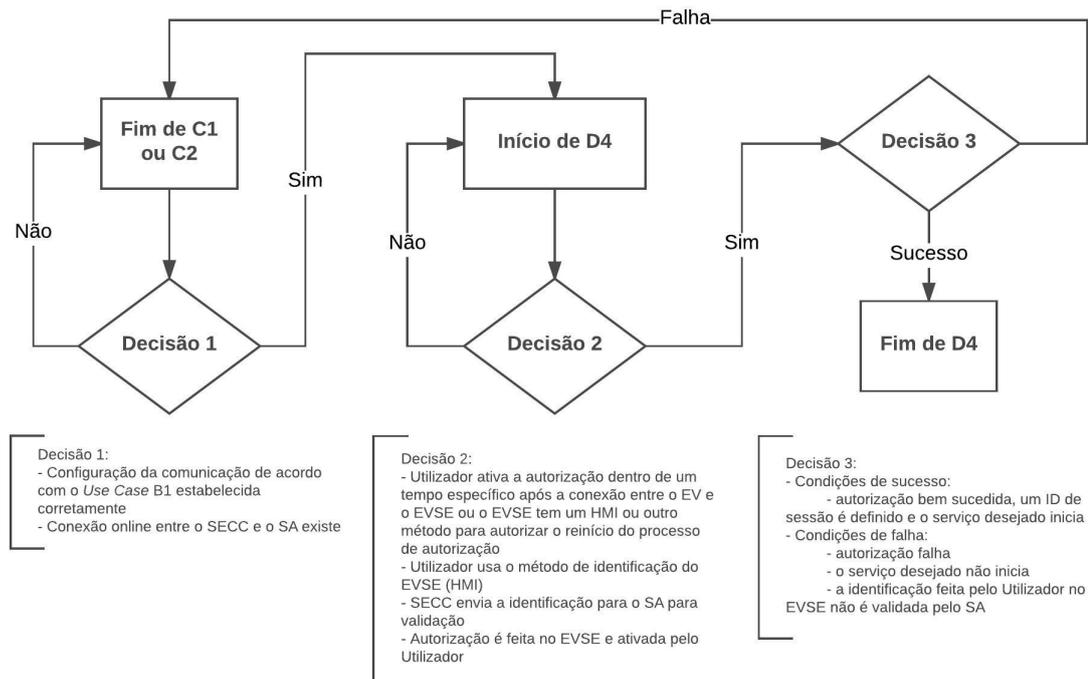


Figura 4.15: *Use Case* D4

## 4.5.5 Definição de metas e do agendar do carregamento

### 4.5.5.1 Carregamento AC com nivelamento de carga baseado em comunicação de alto nível

Este *Use Case* (ID: E1) diz respeito ao carregamento AC com nivelamento de carga baseado em comunicação de alto nível tem como principal objetivo o ajuste dinâmico da corrente máxima AC elaborado pelo EV dentro dos limites da instalação local. Os atores primários envolvidos são o Utilizador, o EVSE e o SECC.

O *Use Case* cobre a troca de informação acerca dos limites da corrente AC, entre o SECC e o EVCC, usando comunicação de alto nível. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

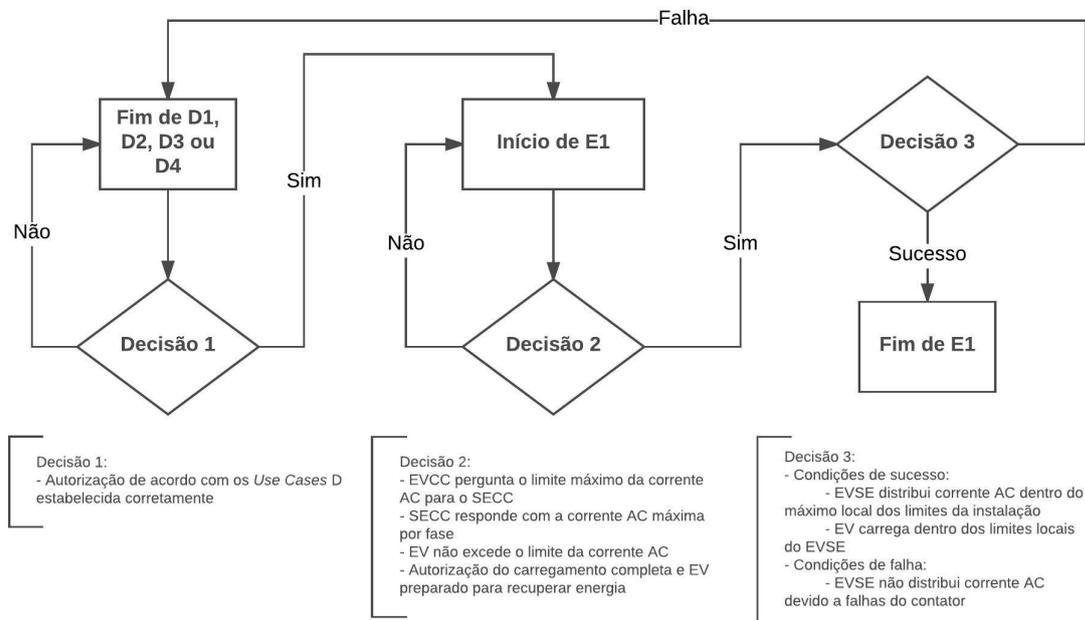


Figura 4.16: *Use Case* E1

#### 4.5.5.2 Carregamento otimizado com agendamento a partir do SA

Este *Use Case* (ID: E2) diz respeito ao carregamento otimizado com agendamento a partir do SA tem como principal objetivo o ajuste dinâmico da potência máxima elaborado pelo EV. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVCC, o EVSE e o SECC, por outro lado os atores secundários são o DCH e o *E-Mobility Operator*.

O *Use Case* cobre o processo de carregamento AC com informação acerca da instalação local, cronograma da rede e tabela das tarifas de venda. Com isto, o EVSE pode reagir dinamicamente às alterações na cadeia de abastecimento para reduzir os picos de procura ou de sobre abastecimento. Por fim, o comportamento do EV enquanto carrega pode ser analisado pelo SA para que se possa aprimorar o agendamento do abastecimento de energia elétrica. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

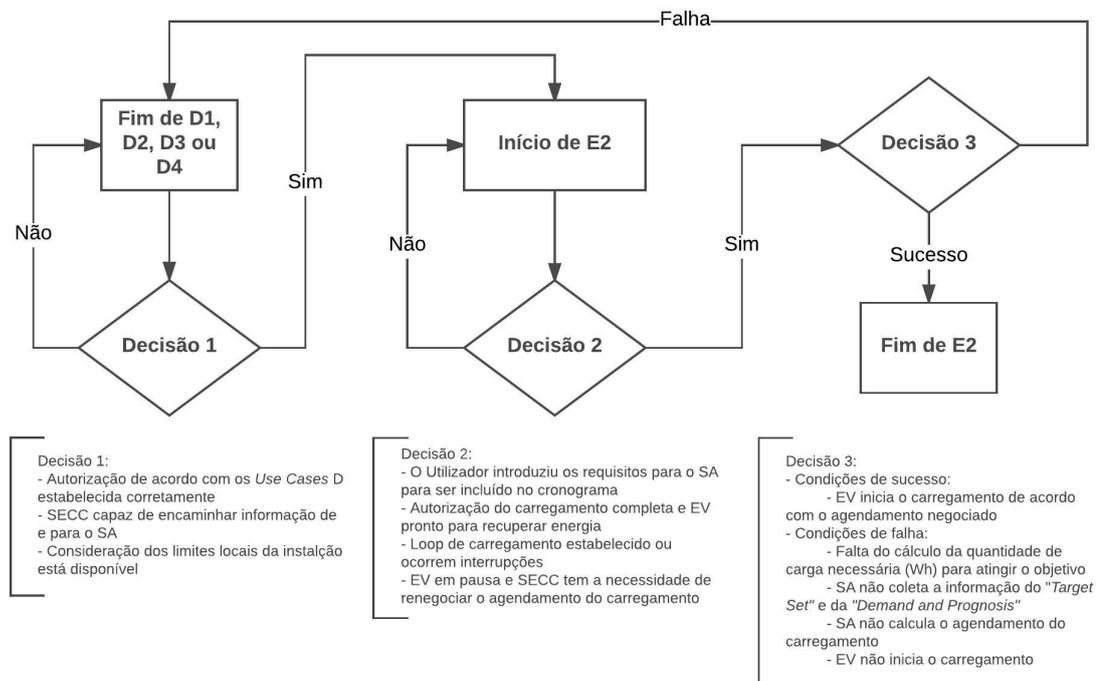


Figura 4.17: *Use Case* E2

#### 4.5.5.3 Carregamento otimizado com agendamento no EV

Este *Use Case* (ID: E3) diz respeito ao carregamento otimizado com agendamento a partir do EV tem como principal objetivo o ajuste dinâmico da potência máxima elaborado pelo EV. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVCC, o EVSE e o SECC, por outro lado os atores secundários são o DCH e o *E-Mobility Operator*.

O *Use Case* cobre o processo de carregamento AC com informação acerca da instalação local, cronograma da rede e tabela das tarifas de venda. Com isto, o EV pode reagir dinamicamente às alterações na cadeia de abastecimento para reduzir os picos de procura ou de sobre abastecimento. Por fim, o comportamento do EV enquanto carrega pode ser analisado pelo SA para que se possa aprimorar o agendamento do abastecimento de energia elétrica. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

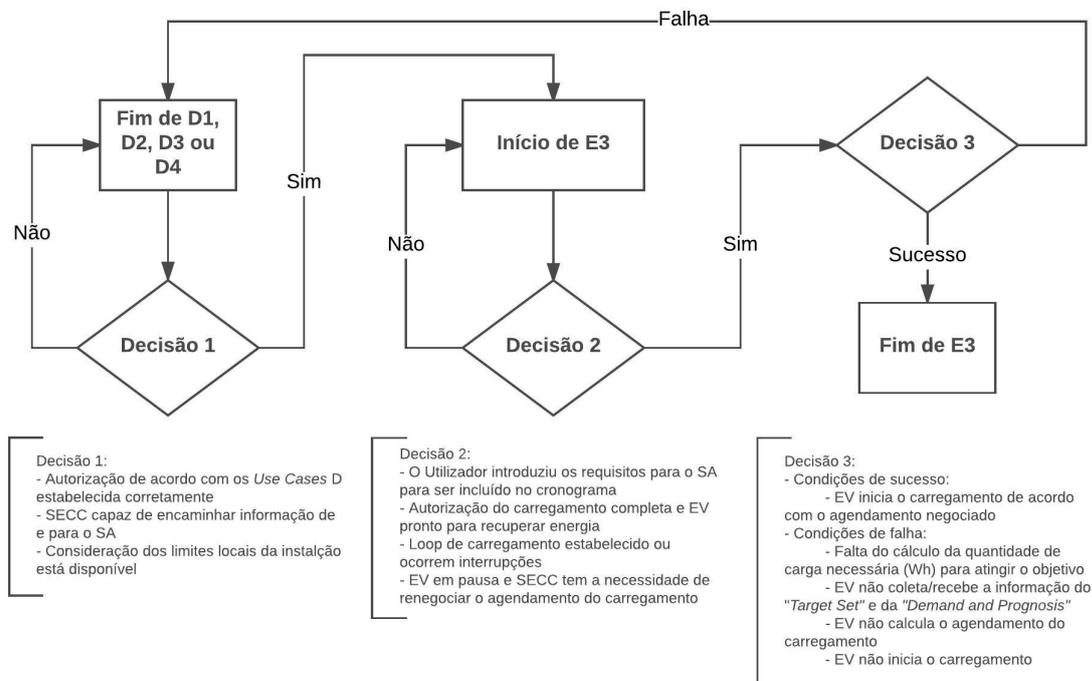


Figura 4.18: *Use Case* E3

#### 4.5.5.4 Carregamento DC com nivelamento de carga baseado em comunicação de alto nível

Este *Use Case* (ID: E4) diz respeito ao carregamento DC com nivelamento de carga baseado em comunicação de alto nível tem como principal objetivo o ajuste dinâmico da potência máxima DC elaborado pelo EV dentro dos limites da instalação local bem como o carregamento sem considerar situações complexas da rede e atores secundários. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVCC, o EVSE e o SECC.

O *Use Case* cobre a troca de informação acerca dos limites da potência DC, entre o EVSE e o EV, usando comunicação de alto nível. O EVSE comunica a potência máxima DC para proteger o equipamento de abastecimento do EV. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

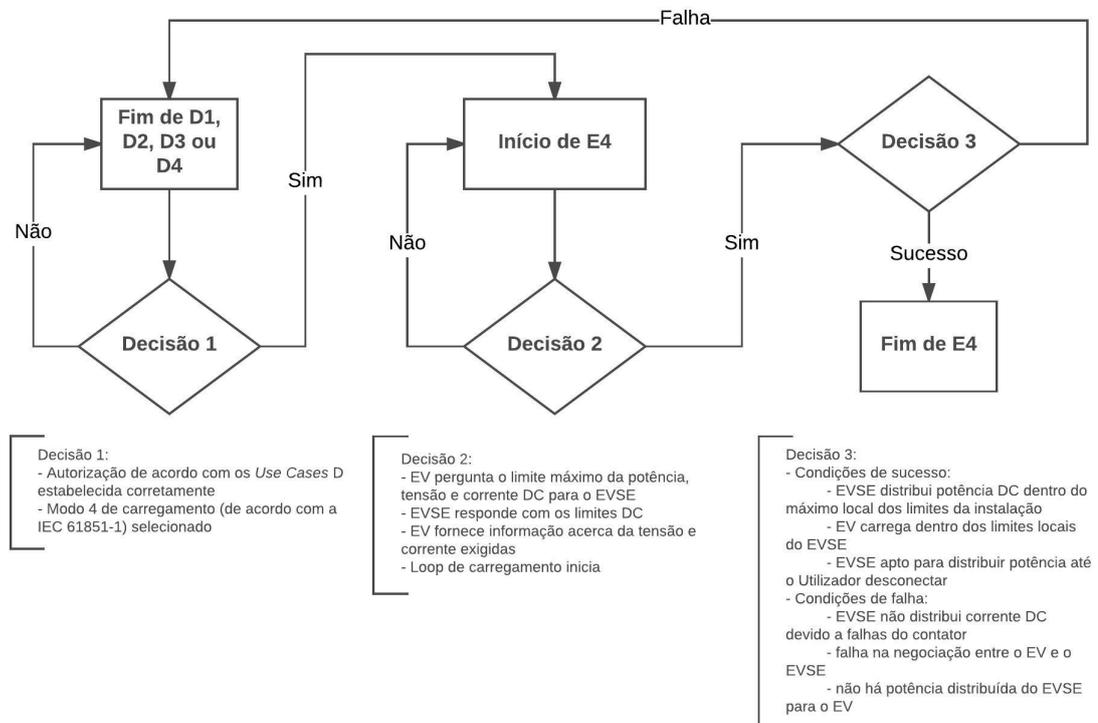


Figura 4.19: *Use Case* E4

**4.5.5.5 Retoma do agendamento autorizado do carregamento**

Este Use Case (ID: E5) diz respeito à retoma do agendamento autorizado do carregamento e tem como principal objetivo reiniciar o horário do carregamento que estava em modo "sleep". Os atores primários envolvidos são o EV, o EVCC, o EVSE e o SECC. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste Use Case tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

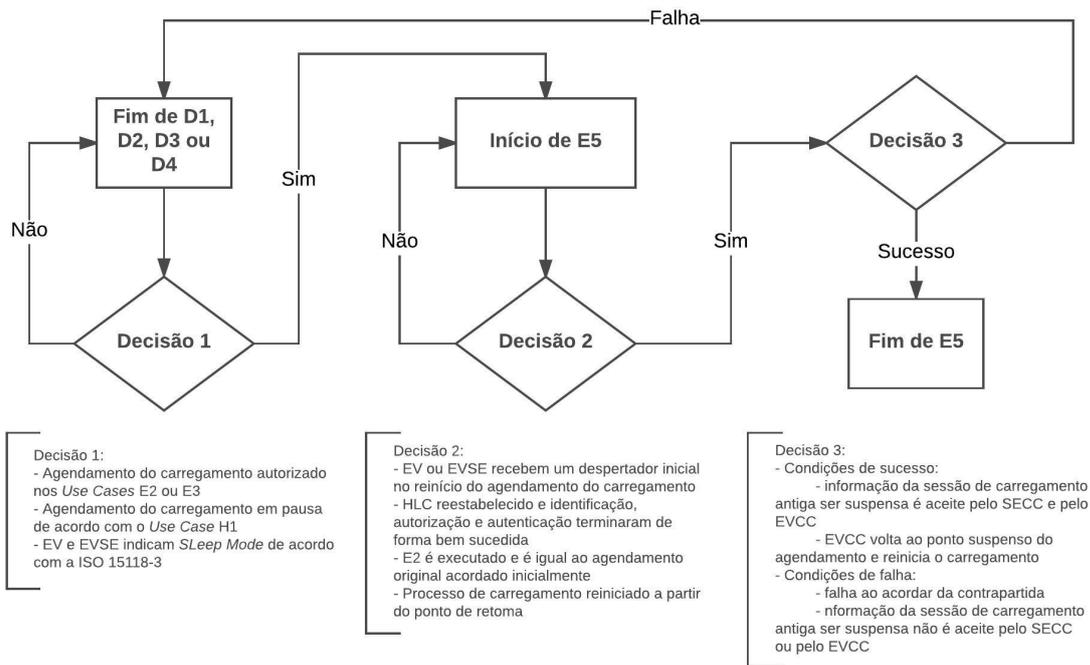


Figura 4.20: Use Case E5

## 4.5.6 Controlo do carregamento e re-agendamento

### 4.5.6.1 Loop de carregamento

Este *Use Case* (ID: F0) tem como principal objetivo continuar com o processo de carregamento até que as condições de sucesso sejam alcançadas e permitam a faturação da energia transferida. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVCC, o EVSE e o SECC. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

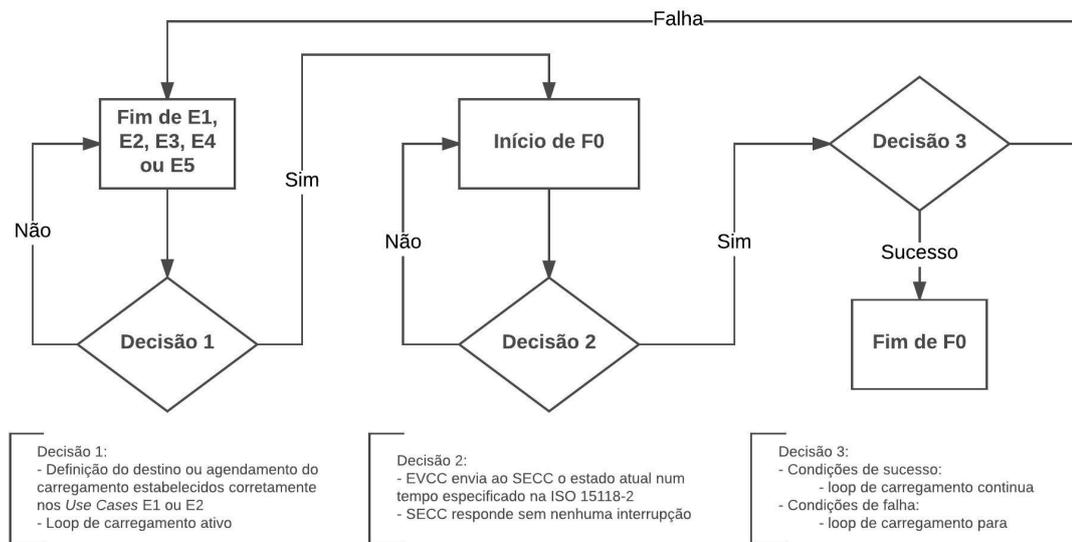


Figura 4.21: *Use Case* F0

Este *Use Case* (ID: F1) que diz respeito ao loop de carregamento com troca de informação da medição tem como principal objetivo continuar com o processo de carregamento até que as condições de sucesso sejam alcançadas e permitam a faturação da energia transferida. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVCC, o EVSE e o SECC.

O *Use Case* cobre o loop de carregamento básico com leitura da medição. Para haver uma faturação fiável da transferência de energia, é necessário provar que a energia foi distribuída para um EV ou cliente específico, ou seja, é obrigatório que o EV confirme que a energia foi recuperada num dado instante de tempo por um certo EVSE. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

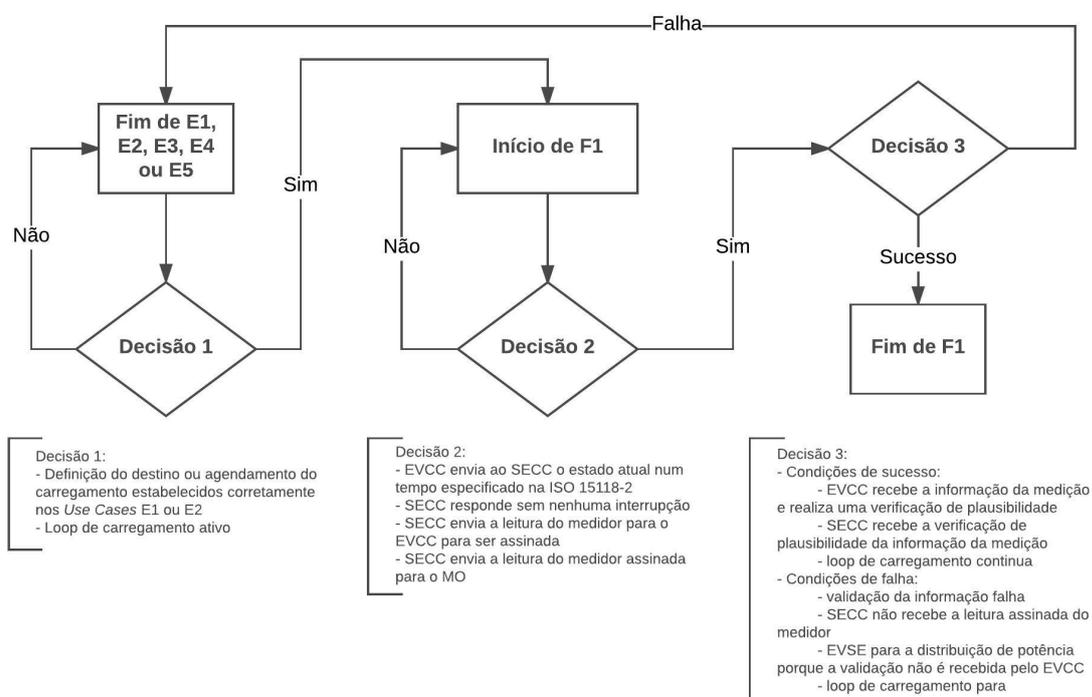


Figura 4.22: *Use Case* F1

Este *Use Case* (ID: F2) que diz respeito ao loop de carregamento com interrupção por parte do SECC tem como principal objetivo continuar com o processo de carregamento até que o SECC interrompa o loop de carregamento. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVCC, o EVSE e o SECC. O *Use Case* diz que o EVCC é o cliente e que este pede sempre informação ao SECC. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

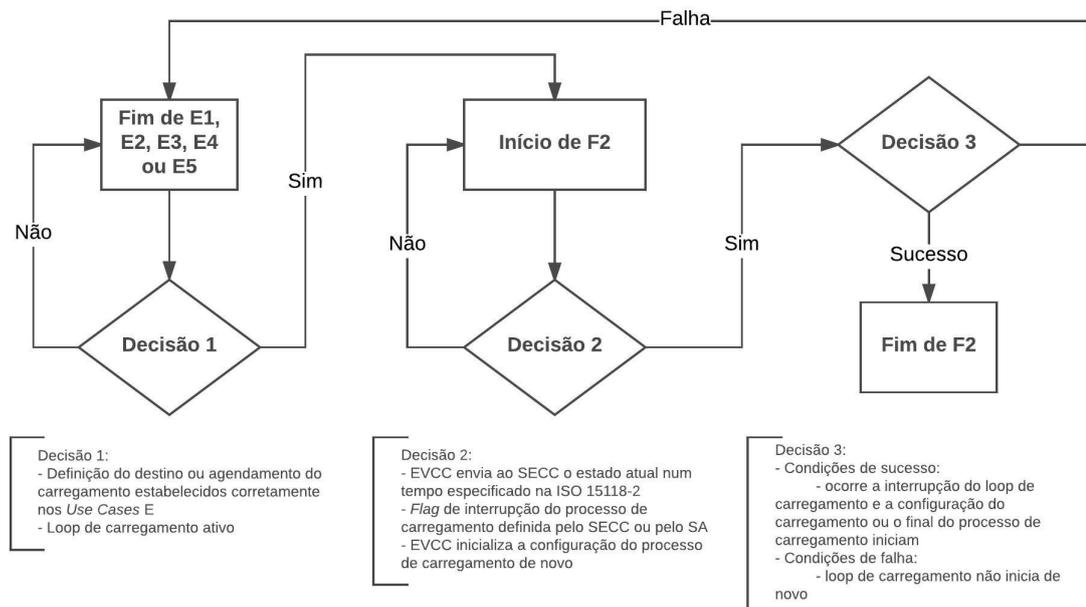


Figura 4.23: *Use Case* F2

Este *Use Case* (ID: F3) que diz respeito ao loop de carregamento com interrupção por parte do EVCC ou do Utilizador tem como principal objetivo a possibilidade por parte do EVCC ou do Utilizador de interromper o loop de carregamento. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVCC, o EVSE, o SECC e o Utilizador. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

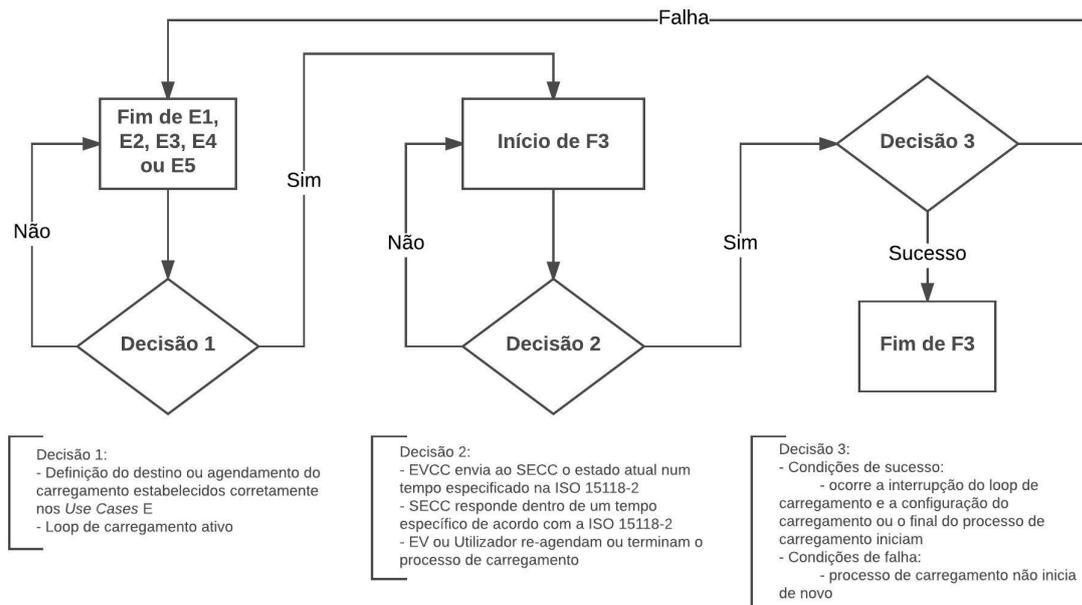


Figura 4.24: *Use Case* F3

#### 4.5.6.2 Compensação de potência reativa

Este *Use Case* (ID: F4) que diz respeito à compensação de potência reativa tem como principal objetivo o suporte ao EVSE por parte do EV para reduzir a potência reativa na rede elétrica. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVCC, o EVSE e o SECC.

O *Use Case* cobre a troca de informação a respeito da possibilidade de compensação de potência reativa do lado do EV e a procura dessa compensação por parte do EVSE ou da rede elétrica. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

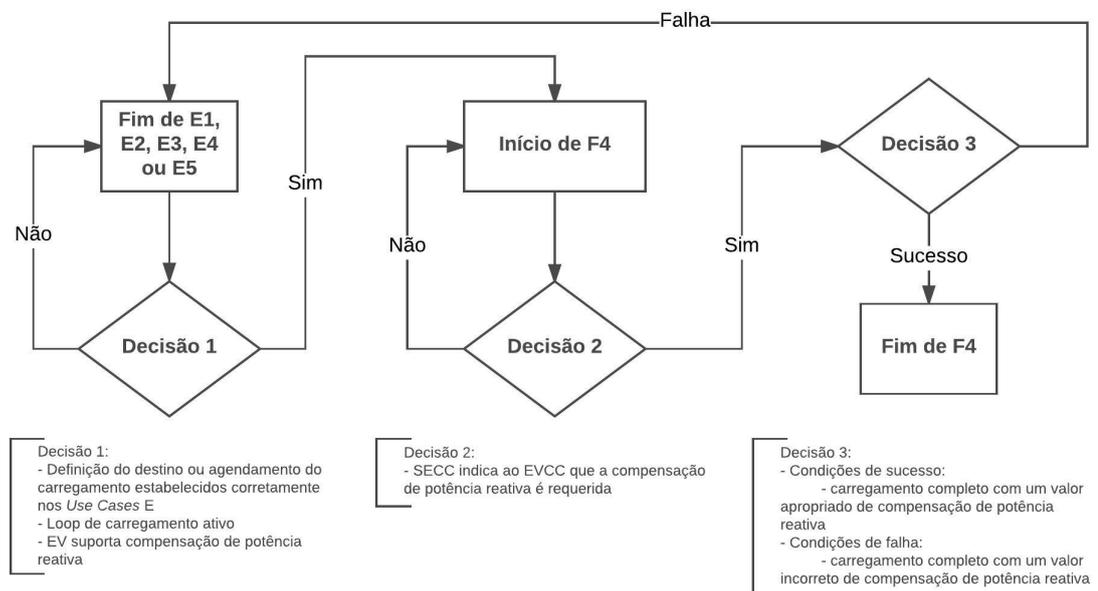


Figura 4.25: *Use Case* F4

### 4.5.6.3 Apoio para V2G

Este *Use Case* (ID: F5) que diz respeito ao suporte para *Vehicle-to-Grid* (V2G) tem como principal objetivo o fornecimento de energia de volta para a rede elétrica por parte do EV. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVCC, o EVSE e o SECC, por outro lado os atores secundários envolvidos são o DSO, o DCH e o EMOCH.

O *Use Case* cobre a troca de informação a respeito da possibilidade de suporte para o fluxo de energia V2G. Portanto, o EV necessita de indicar se suporta o V2G. Adicionalmente, precisa também de fornecer informação de quanta energia tem disponível para o processo e qual a potência suportada. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

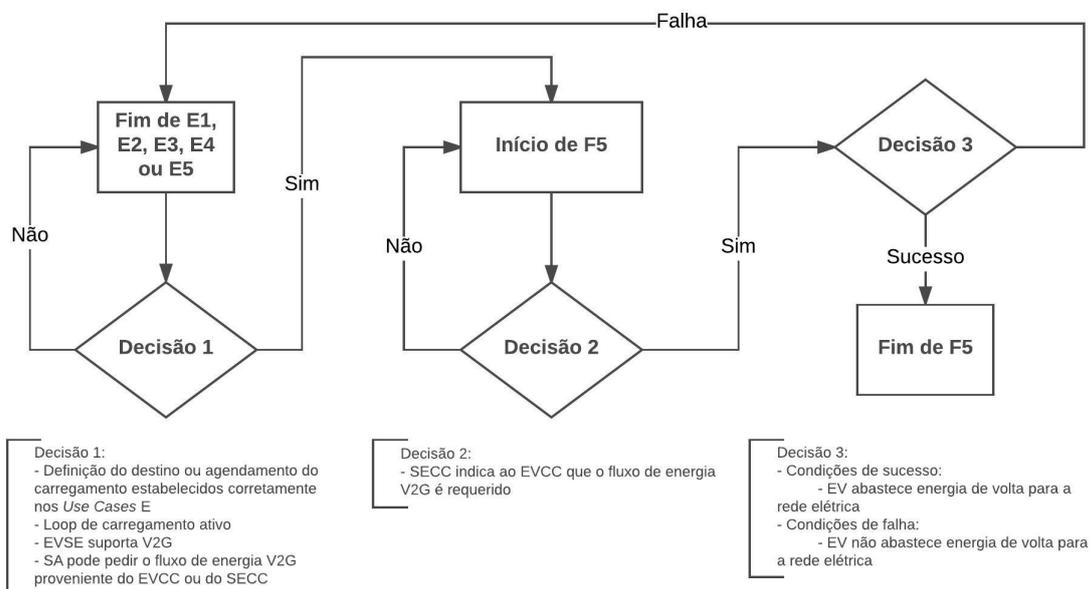


Figura 4.26: *Use Case* F5

### 4.5.7 Serviços de valor acrescentado

Este *Use Case* (ID: G1) tem como principal objetivo a troca de informação entre o EVCC e o SECC acerca dos serviços de valor acrescentado. Os serviços opcionais em causa são aqueles que podem conectar ao domínio da rede local (EVSE) ou à internet usando protocolos IP. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

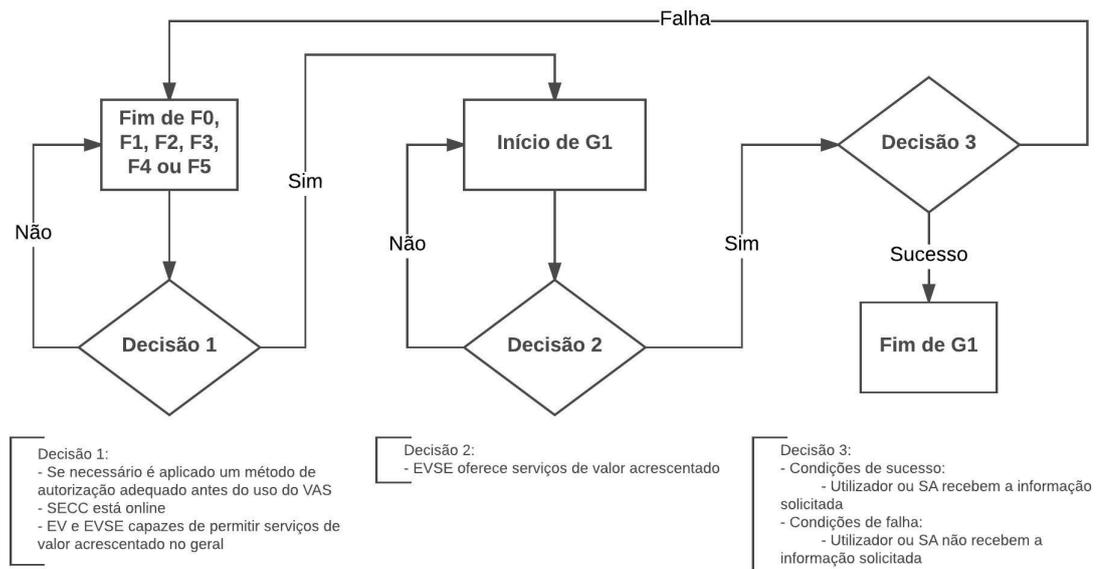


Figura 4.27: *Use Case* G1

#### 4.5.7.1 Detalhes do carregamento

Este *Use Case* (ID: G2) que diz respeito ao fornecimento de informações acerca do processo de carregamento atual ao Utilizador do EV ou ao ator secundário. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVCC, o EVSE, o SECC e o HMI.

O *Use Case* cobre a troca de informação com o SECC a respeito do processo de carregamento. Parâmetros como o estado da bateria e da carga são enviados ao SECC e o mesmo ou o ator secundário, cientes destes estados, fornecem informação ao Utilizador do veículo. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

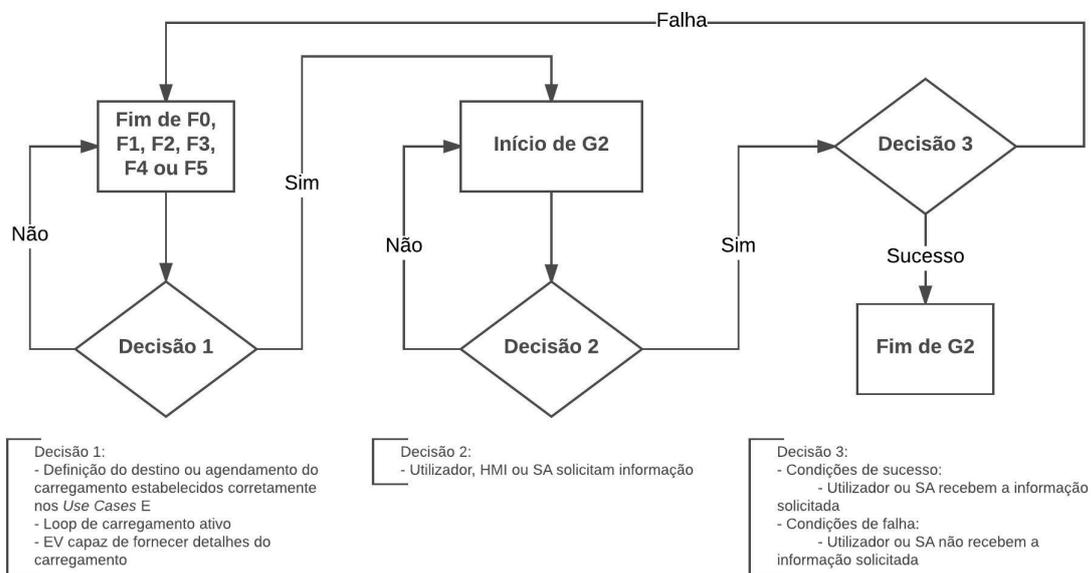


Figura 4.28: *Use Case* G2

### 4.5.8 Fim do processo de carregamento

O fim do processo de carregamento é um *Use Case* (ID: H1) que tem como objetivo dar como terminada a carga do EV de forma segura enquanto é trocada toda a informação relevante e necessária para processos futuros. Os atores primários envolvidos são o EV, o EVSE, o EVCC, o SECC e o Utilizador.

Para ser dado por terminado o processo, o EVCC deve enviar para o SECC a informação de que este deve terminar e o SECC responde desligando a energia e libertando o bloqueio (se implementado). A sequência de desligar só é necessária se o processo de carregamento ainda estiver a decorrer quando o Utilizador iniciar o final do mesmo. [8]

No diagrama está descrito o modo de funcionamento deste *Use Case* tanto em caso de sucesso como em caso de ocorrência de qualquer tipo de falha.

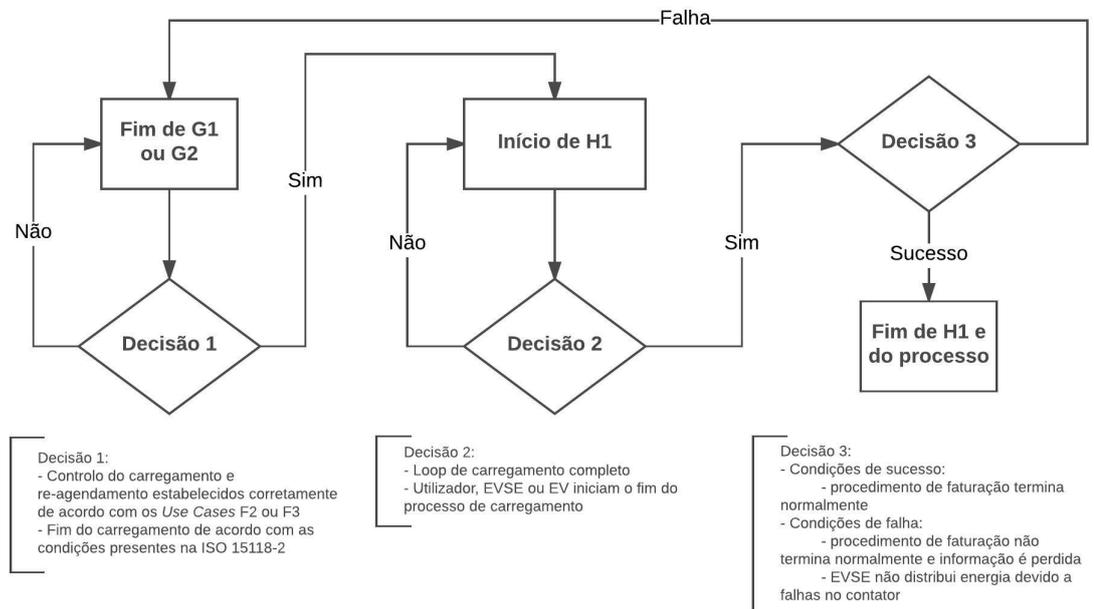


Figura 4.29: *Use Case* H1



## Capítulo 5

# Conclusões e trabalho futuro

Neste capítulo, são abordadas as principais conclusões retiradas ao longo do trabalho assim como algumas propostas para um trabalho futuro. Todo o trabalho desenvolvido ao longo da dissertação foi uma mais valia pois permitiu sedimentar conhecimentos adquiridos ao longo de todo o curso.

Com todo o estudo e análise teórica das normas e das diferentes topologias, foi possível ter uma melhor perceção do que é uma componente da engenharia e do que é a eletrónica de potência, mas também, devido ao facto da dissertação ter sido realizada em ambiente empresarial, possibilitou uma melhor perceção do que é o verdadeiro mundo do trabalho.

### 5.1 Conclusões

Durante a realização desta dissertação, foi possível aprofundar diversos conceitos que dizem respeito aos EVs, não só o que diz respeito ao seu modo de carregamento, mas também o processo inverso de transferência de energia para a rede elétrica em troca de benefícios fiscais e monetários. Foi, deste modo, também possível aprofundar os conceitos e *Use Cases* da norma ISO 15118 (na qual se centrou grande parte do trabalho) que possibilitam a implementação do processo conhecido como *Vehicle-to-Grid* (V2G).

Como o tópico do *Vehicle-to-Grid* ainda é um assunto que não é muito discutido a nível mundial e começou há pouco tempo a ser desenvolvido e trabalhado nas empresas, acaba por existir pouca informação disponível para consulta acerca deste tema pois são poucas as empresas que a disponibilizam. Apesar desta dificuldade, com a análise da norma e da informação encontrada, foi possível fazer um estudo detalhado e, deste modo, encontrar soluções avançadas de controlo do carregamento dos EVs que permitissem a implementação do V2G.

Com o estudo apresentado ao longo de todo o documento, verifica-se que é possível implementar o conceito de V2G, não só através da implementação dos *Use Cases* da norma ISO 15118, mas também através das topologias que derivam do estudo da norma IEC 61851 e que permitem aferir a arquitetura do sistema, como é efetuada a comunicação e, mais importante, como é estabelecida a capacidade de bidirecionalidade no sistema. Esta capacidade deriva da utilização de

conversores AC/DC e DC/DC bidirecionais que foram escolhidos de acordo com as necessidades da aplicação.

Por outro lado, conclui-se também que, apesar da possibilidade de implementação desta aplicação, na prática tal não é tão simples. Isto deve-se ao facto dos utilizadores dos EVs não estarem recetivos a uma topologia que necessite de "tirar" energia ao seu veículo enquanto este está a carregar, aquando das necessidades da rede elétrica. Isto é, como os utilizadores pagam para receber a energia proveniente da rede para carregarem os seus EVs, estes não vão estar dispostos a abdicar desta energia sempre que a rede necessitar, a não ser que tenham benefícios fiscais e monetários que não os façam ter prejuízo. Ao serem dados estes benefícios aos utilizadores, as empresas acabariam por gastar o que poupariam com a não utilização de geradores para colmatar as baixas de energia, o que tornaria este processo de V2G bastante mais dispendioso para as empresas energéticas.

Em suma, apesar desta aplicação poder ser implementada, tal não seria, para já, vantajoso pois teria muitas condicionantes a nível económico e financeiro que a tornariam inviável.

## 5.2 Trabalho futuro

O estudo realizado nesta dissertação tem como principal possibilidade de trabalho futuro a implementação prática do *Vehicle-to-Grid* e dos *Use Cases* analisados da norma ISO 15118. Esta implementação seria feita quer nos carregadores dos veículos, desenvolvidos e construídos na empresa EFACEC Engenharia e Sistemas S.A., quer nos próprios EVs, para que fosse possível a realização da comunicação entre os dois intervenientes assim como a troca bidirecional de energia entre eles.

## **Capítulo 6**

### **Anexos**

## 6.1 Anexo A

	Description
(t0)	– Vehicle connector is plugged into vehicle inlet which changes CP state from A to B.
(t0 → t1)	– High level communication (PLC) starts and handshaking with exchange of charging parameters takes place. – DC supply checks if d.c. output voltage is less than 60 V and terminates supply session if 60 V is exceeded.
(t1)	– EV sends its maximum limits (amongst other parameters) for d.c. supply output current and voltage with <3a>.
(t1 → t2)	– EV locks vehicle connector in its inlet. – Maximum values of the d.c. supply are responded to the EV with <3b>. – DC supply can check internal insulation as long as no voltage is applied to the connector. – If EV and d.c. supply are not compatible, then the vehicle will not go to Ready, and will transition to step t16 in the normal shutdown sequence.
(t2)	– EV changes CP state from B to C/D by closing S2 and sets EV status "Ready", which ends initialization phase.
(t2→t3)	– EV requests cable and insulation check by <4a> after connector lock has been confirmed. – DC supply starts checking HV system insulation and continuously reports insulation state by <4b>.
(t3)	– DC supply determines that insulation resistance of system is above 100 kΩ (cf. CC.4.1).
(t3→t4)	– After having successfully finished the insulation check, d.c. supply indicates status "Valid" with subsequent message <4b>
(t4)	– DC supply status changes to "Ready" with Cable Check Response <4b>
(t5)	– Start of pre-charge phase with EV sending Pre-Charge Request <5a>, which contains both requested DC current <2A (maximum inrush current according to CC.5.2) and requested d.c. voltage.
(t5→t6)	– DC supply adapts d.c. output voltage to requested value in <5a> while limiting current to maximum value of 2 A (maximum inrush current according to CC.6.1)
(t6)	– DC output voltage reaches requested voltage within tolerances given in 101.2.1.2.
(t6→t7)	– EV stops vehicle internal insulation monitoring, if any and necessary. – If necessary EV adapts requested d.c. voltage with cyclic messages <5a> in order to limit deviation of d.c. output voltage from EV battery voltage to less than 20 V (cf. Note in CC.5.1).
(t7)	– EV closes its disconnecting device after deviation of d.c. output voltage from EV battery voltage is less than 20 V.
(t7→t8)	– EV sends Power Delivery Request <6a> with ReadyToChargeState "True" to enable d.c. power supply output. – After disabling pre-charge circuit, if any, and switching on its power supply output, d.c. Supply gives feedback <6b> that it is ready for energy transfer.
(t8)	– EV sets d.c. current request with <7a> to start energy transfer phase.
(t8→t9)	– DC supply adapts its output current and voltage to the requested values. – DC supply reports its present output current and output voltage, its present current limit and voltage limit, and its present status back to the EV in message <7b>.  NOTE EV may change its voltage request and current request even if output current has not reached the previous request.
(t9)	– DC output current reaches d.c. current request within delay time $T_d$ defined in 101.2.1.3. (time span $t9 - t8 = T_d$ , if one request has been made, bold line shows this situation)
(t9→)	– EV adapts d.c. current request and d.c. voltage request according to its charging/supply strategy with cyclic message <7a>.

Figura 6.1: Descrição do iniciar normal do processo de carregamento [6]

	Description
(t10)	The EV reduces the current request to complete the energy transfer. Reduction is done on EV charging/supply strategy.
(t10→t11)	DC supply shall follow current request with a time delay acc. to 101.2.1.3 and it shall reduce the output current to less than 1 A before disabling its output.
(t11)	The EV requests the DC supply to disable its output by sending message <8a> power delivery request with ReadyToChargeState set to False.
(t11→t12)	EV may open its disconnection device after current is below 1 A.
(t12)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DC supply disables its output and opens contactors, if any</li> <li>- DC supply shall enable its circuit to actively discharge any internal capacitance on its output after receiving message &lt;8a&gt; with "ReadToChargeState" set to false.</li> <li>- DC supply shall not cause any current flow on EV input during discharge.</li> </ul>
(t13)	DC supply reports status code "Not Ready" with message <8b> to indicate it has disabled its output within 2 s.
(t14)	EV changes CP state to B after receiving message <8b> or after timeout to ensure that DC.. supply has discharged its output at latest by t14 (in case message <8a> was lost)
(t14')	EV can optionally perform its welded contactor check and indicate this to the d.c. supply with message <9a>.
(t14'→t15)	The vehicle may send multiple <9a> requests in order to read the d.c. supply output voltage measured by the d.c. supply in the response message <9b>
(t15)	Latest point in time for EV going into "Not Ready" status and opening its disconnecting device
(t15→t16)	EV can start EV isolation monitoring, if any.
(t16)	EV unlocks the connector after d.c. output has dropped below 60 V.
(t16→t16')	DC supply continues insulation monitoring dependant on d.c. supply strategy.
(t16')	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SessionStopRequest with message &lt;10a&gt; terminates digital communication (PLC).</li> <li>- DC supply shall maintain state B2 (5 %) until 2 s to 5 s after SessionStopRequest was received and then change to B1 (100 %).</li> </ul> <p>NOTE If the EV wants to restart supply again, it locks the connector, asserts "EV Ready", after which it initialization phase starts from t1. The communications session may have to re-start from t0 if the modems have shutdown.</p>
(t17)	Disconnecting of vehicle connector changes CP state from B to A.

Figura 6.2: Descrição do desligar normal do processo de carregamento [6]

## 6.2 Anexo B

Charging state	Vehicle coupler state	S	DC charger self detection finished	Handshake and configuration finished	Communication state	Charging or not	U1 V	U2 V	Note
State 1	Disconnection	OPEN	-	-	-	NO	12	-	NO communication
State 2	Disconnection	OPEN	-	-	-	NO	6	-	NO communication
State 3	Connection	CLOSED	NO	-	-	NO	4	-	Self detection is not finished and NO communication
State 4	Connection	CLOSED	YES	NO	YES	NO	4	6	K3 and K4 closed. communication going on.
State 5	Connection	CLOSED	YES	YES	YES	YES	4	6	K5, K6, K1, K2 closed
State 6	Connection	CLOSED	YES	YES	NO	NO	4	6	Communication disconnect. start to protection
State 7	Connection	OPEN	YES	YES	-	NO	6	6	If this state holds for a solid time (200 ms), DC charger control equipment start to adopt protection
State 8	Disconnection	OPEN	YES	YES	-	NO	12	12	VCE and DC charger control equipment adopt different protection solutions

NOTE Charging state is detected by the voltage of point 1 (U1) and point 2 (U2).

Figura 6.3: Definição dos estados de carregamento [6]

Object	Parameters <sup>a</sup>	Symbol	Unit	Nominal	Max	Min
Requirements of DC charger control unit	Equivalent resistance R1	R1	$\Omega$	1 000	1 030	970
	Pull-up voltage	U1	V	12	12,6	11,4
	Voltage 1	U1a	V	12	12,8	11,2
		U1b	V	6	6,8	5,2
U1c		V	4	4,8	3,2	
Requirements of vehicle connector	Equivalent resistance R2	R2	$\Omega$	1 000	1 030	970
	Equivalent resistance R3	R3	$\Omega$	1 000	1 030	970
Requirements of vehicle inlet	Equivalent resistance R4	R4	$\Omega$	1 000	1 030	970
Requirements of EV	Equivalent resistance R5	R5	$\Omega$	1 000	1 030	970
	Pull-up voltage	U2	V	12	12,6	11,4
	Voltage 2	U2a	V	12	12,8	11,2
		U2b	V	6	6,8	5,2

<sup>a</sup> The accuracy shall be maintained under applicable environmental conditions and service life.

Figura 6.4: Parâmetros de segurança recomendados do sistema de carregamento DC [6]

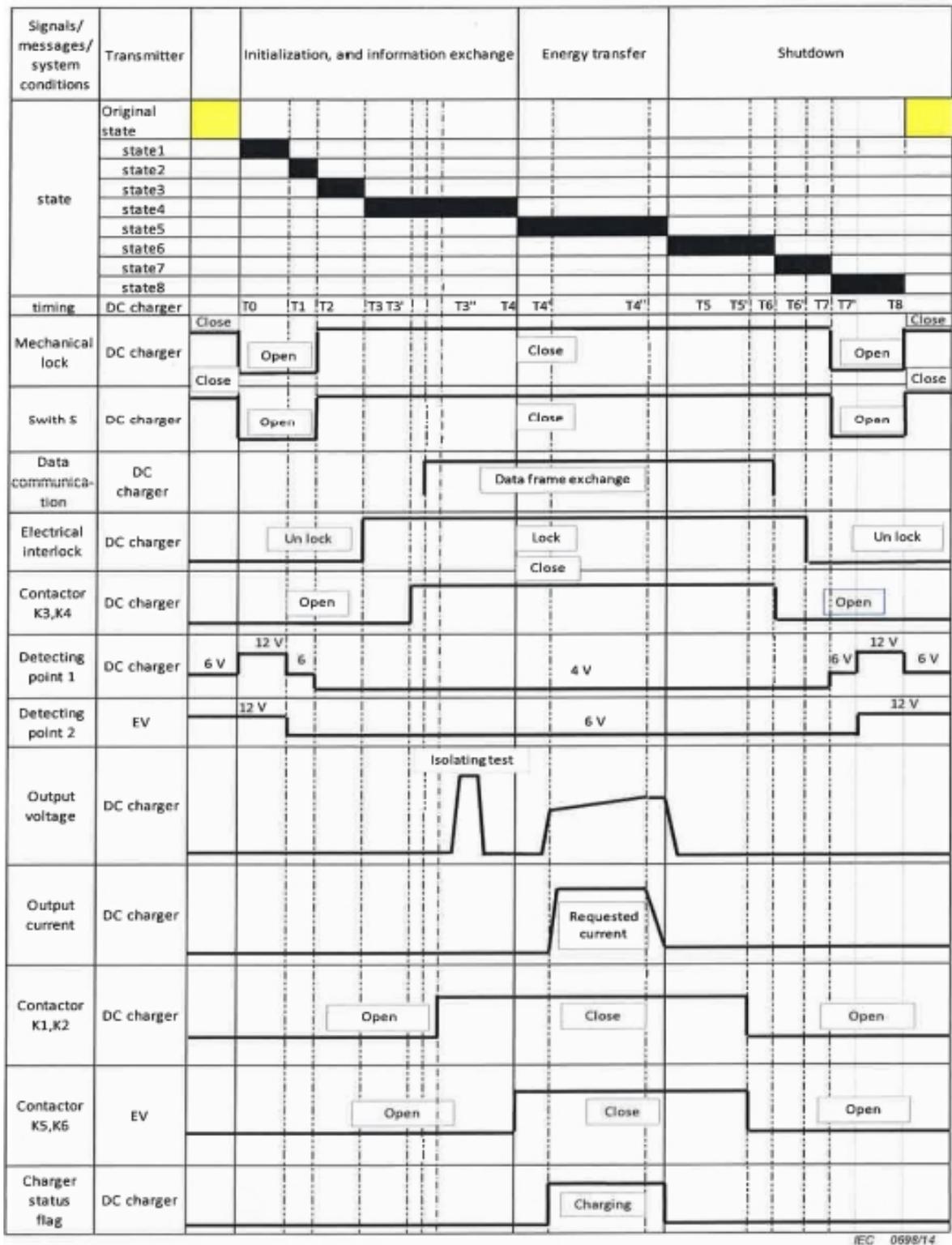


Figura 6.5: Diagrama de seqüência do processo de carregamento segundo o sistema B [6]

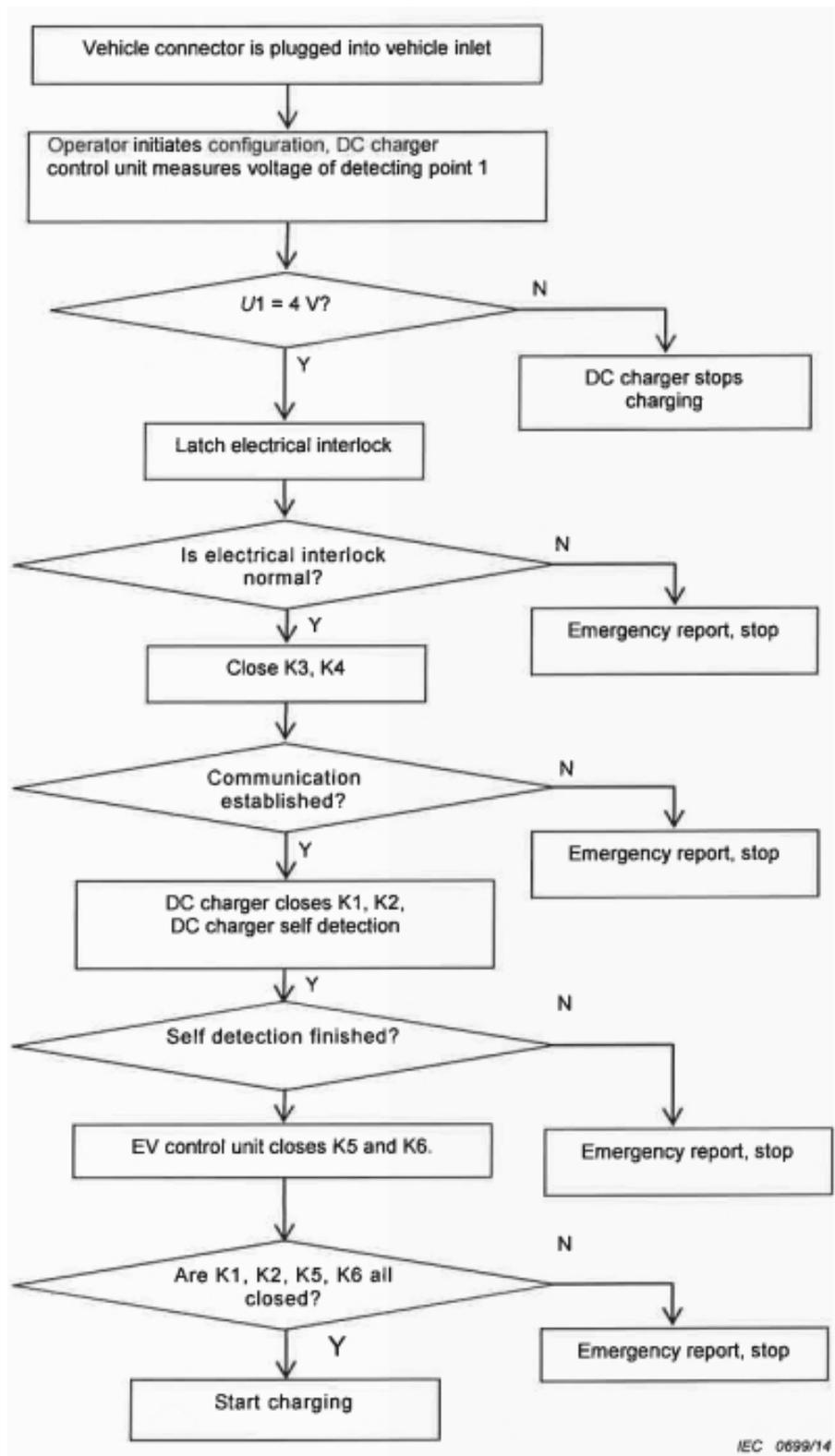


Figura 6.6: Diagrama de fluxo do iniciar do processo de carregamento segundo o sistema B [6]

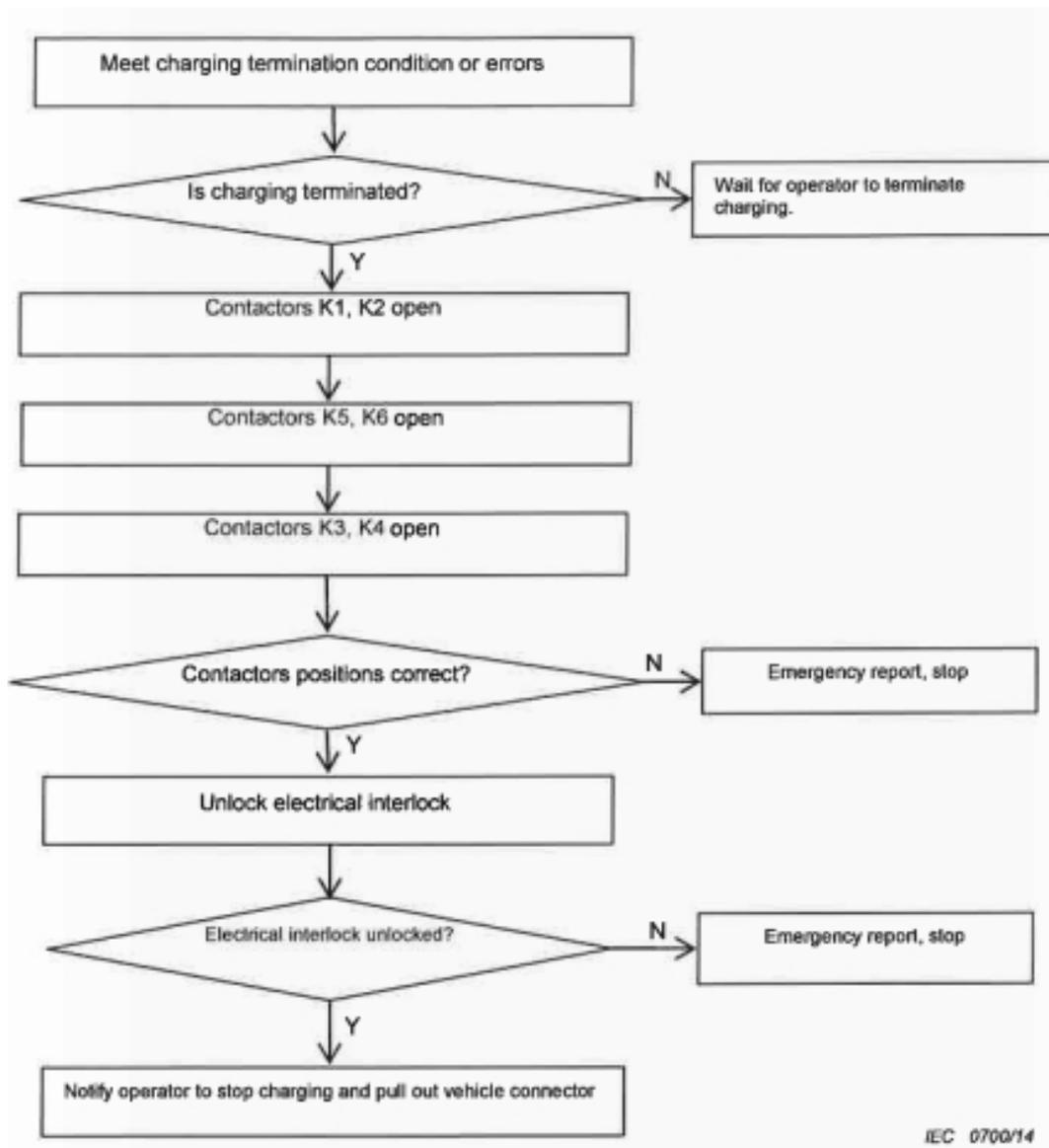


Figura 6.7: Diagrama de fluxo do desligar do processo de carregamento segundo o sistema B [6]

### 6.3 Anexo C

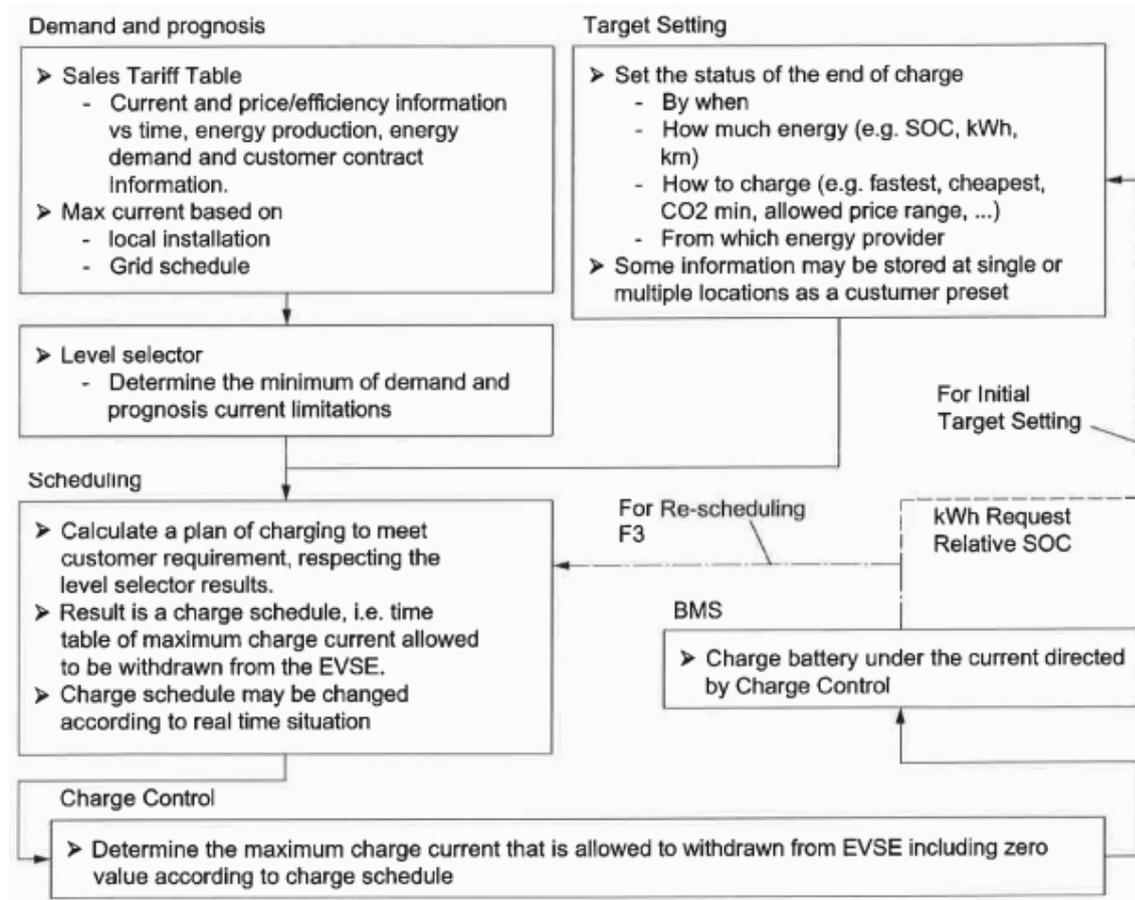


Figura 6.8: Diagrama de fluxo do processo de carregamento segundo a norma ISO 15118-1 [8]

No.	Peer 1	Peer 2	Communication type, exchange data
1	EV	EVSE/ EVSE Operator	Charging control data, contract, EVSE-ID, physical limits (safety monitoring), meter information, charge plan, safety monitoring data
2	EV	Clearing house	Charging information, billing information (indirect), tariff information
3	EV	VAS	Value added service related communication
4	EVSE	EVSE operator	Contracts, limits, meter information, charge plan SW-Updates
5	EVSE	Clearing house	Contracts, limits, meter information, charge plan, billing record
6	EVSE	E-Mobility Operator	Contract, charge control
7	EVSE	Energy provider	

Figura 6.9: Relações da comunicação e troca de dados entre os atores envolvidos [8]



## 6.4 Anexo D

Tabela 6.1: Mapa de mensagens enviadas e recebidas no processo de carregamento [2]

Message Type (cyclic)	Parameter				Data Type	Opt
SessionSetupReq	EVCCID				hexBinary	
SessionSetupRes	ResponseCode EVSEID DateTimeNow				enum hexBinary long	O
ServiceDiscoveryReq	ServiceScope ServiceCategory				string enum	O
ServiceDiscoveryRes	ResponseCode PaymentOptions ChargeService ServiceList	PaymentOption ServiceTag FreeService EnergyTransferType Service	PaymentOptionType ServiceID ServiceName ServiceCategory ServiceScope ServiceTag FreeService	ServiceID ServiceName ServiceCategory ServiceScope	enum ushort string enum string bool enum ushort string enum string bool	O O O O O O
ServicePaymentSelectionReq	SelectedPaymentOption SelectedServiceList	PaymentOptionType ServiceID ParameterSetID			enum ushort short	O
ServicePaymentSelectionRes	ResponseCode				enum	
ContractAuthenticationReq	ID GenChallenge				IDREF string	O
ContractAuthenticationRes	ResponseCode EVSEProcessing				enum enum	
ChargeParameterDiscoveryReq	EVRequestedEnergyTransfer DC-EVChargeParameter	EnergyTransferType DC-EVStatus EVMaximumCurrentLimit EVMaximumPowerLimit EVMaximumVoltageLimit EVEnergyCapacity EVEnergyRequest FullSOC BulkSOC	EVReady EVCabinConditioning EVRESSConditioning EVErrorCode EVRESSOC		enum bool bool bool DC-EVErrorCodeType byte PhysicalValueType PhysicalValueType PhysicalValueType PhysicalValueType PhysicalValueType byte byte	O O O O O O O
ChargeParameterDiscoveryRes	ResponseCode EVSEProcessing SAScheduleList DC-EVSEChargeParameter	SAScheduleTupleID PMaxSchedule SalesTariff DC-EVSEStatus EVSEMaximumCurrentLimit EVSEMaximumPowerLimit EVSEMaximumVoltageLimit EVSEMinimumCurrentLimit EVSEMinimumVoltageLimit EVSECurrentRegulationTolerance EVSEPeakCurrentRipple EVSEEnergyToBeDelivered	PMaxScheduleID PMaxScheduleEntry EVSEIsolationStatus EVSEStatusCode NotificationMaxDelay EVSENotification	RelativeTimeInterval PMax	enum enum short short short enum enum uint enum PhysicalValueType PhysicalValueType PhysicalValueType PhysicalValueType PhysicalValueType PhysicalValueType	O O O O O
CableCheckReq	DC-EVStatus	EVReady EVCabinConditioning EVRESSConditioning EVErrorCode EVRESSOC			bool bool bool DC-EVErrorCodeType byte	O O

Tabela 6.2: Mapa de mensagens enviadas e recebidas no processo de carregamento (cont.) [2]

MessageType (cyclic)	Parameter			Data Type	Opt
CableCheckRes	ResponseCode DC-EVSEStatus  EVSEProcessing	EVSEIsolationStatus DC-EVSEStatusCode NotificationMaxDelay EVSENotification		enum  enum enum uint enum enum	0
PreChargingReq	DC-EVSEStatus  EVTargetVoltage EVTargetCurrent	EVReady EVCabinConditioning EVRESSConditioning EVErrorCode EVRESSSOC		bool bool bool DC-EVErrorCodeType byte PhysicalValueType PhysicalValueType	0 0
PreChargingRes	ResponseCode DC-EVSEStatus  EVSEPresentVoltage	EVSEIsolationStatus DC-EVSEStatusCode NotificationMaxDelay EVSENotification		enum  enum enum uint enum PhysicalValueType	0
PowerDeliveryReq	ReadyToChargeState ChargingProfile  DC-EVPowerDeliveryParameter	SAScheduleTupleID ProfileEntry  DC-EVStatus  BulkChargingComplete ChargingComplete	ChargingProfileEntryStart ChargingProfileEntryMaxPower  EVReady EVCabinConditioning EVRESSConditioning EVErrorCode EVRESSSOC	bool  short  uint short  bool bool bool DC-EVErrorCodeType bool bool bool	0  0  0 0  0 0 0 0 0
PowerDeliveryRes	ResponseCode DC-EVSEStatus	EVSEIsolationStatus DC-EVSEStatusCode NotificationMaxDelay EVSENotification		enum  enum enum uint enum	0
CurrentDemandReq	DC-EVStatus  EVTargetCurrent EVMaximumCurrentLimit EVMaximumPowerLimit EVMaximumVoltageLimit BulkChargingComplete ChargingComplete RemainingTimeToFullSOC RemainingTimeToBulkSOC EVTargetVoltage	EVReady EVCabinConditioning EVRESSConditioning EVErrorCode EVRESSSOC		bool bool bool bool DC-EVErrorCodeType byte PhysicalValueType PhysicalValueType PhysicalValueType PhysicalValueType bool bool PhysicalValueType PhysicalValueType PhysicalValueType	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
CurrentDemandRes	ResponseCode DC-EVSEStatus  EVSEPresentVoltage EVSEPresentCurrent EVSECurrentLimitAchieved EVSEVoltageLimitAchieved EVSEPowerLimitAchieved EVSEMaximumCurrentLimit EVSEMaximumPowerLimit EVSEMaximumVoltageLimit	EVSEIsolationStatus DC-EVSEStatusCode NotificationMaxDelay EVSENotification		enum  enum enum uint enum enum PhysicalValueType PhysicalValueType bool bool bool PhysicalValueType PhysicalValueType PhysicalValueType	0  0 0 0 0 0 0 0 0
WeldingDetectionReq	DC-EVStatus	EVReady EVCabinConditioning EVRESSConditioning EVErrorCode EVRESSSOC		bool bool bool bool DC-EVErrorCodeType byte	0 0
WeldingDetectionRes	ResponseCode DC-EVSEStatus  EVSEPresentVoltage	EVSEIsolationStatus DC-EVSEStatusCode NotificationMaxDelay EVSENotification		enum  enum enum uint enum PhysicalValueType	0
SessionStopReq					
SessionStopRes	ResponseCode			enum	



# Referências

- [1] <https://www.resumoscolar.com.br/quimica/eletroquimica-pilha-de-daniell-eletrodo-e-diferenca-de-potencial/>, última vez acessido a 26/01/2017.
- [2] "*DIN SPEC 70121: Electromobility - Digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle of d.c. charging in the Combined Charging System*". DIN, NAAutomobil, Agosto 2012.
- [3] "*EVACharge SE - Datasheet*". I2SE GmbH, Dezembro 2015.
- [4] <https://www.altran.de/industries/automotive-infrastructure-and-transportation/plc-tracer.html#.WIoCzhuLTDC>, última vez acessido a 26/01/2017.
- [5] "*IEC 61851-1: Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements*". International Standard, Edition 2.0, Novembro 2010.
- [6] "*IEC 61851-23: Electric vehicle conductive charging system - Part 23: DC electric vehicle charging station*". International Standard, Edition 1.0, Março 2014.
- [7] "*IEC 61851-24: Electric vehicle conductive charging system - Part 24: Digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle for control of d.c. charging*". International Standard, Edition 1.0, Março 2014.
- [8] "*ISO 15118-1: Road vehicles - Vehicle to grid communication interface - Part 1: General information and use-case definition*". International Standard, 1st Edition, Outubro 2013.
- [9] "*ISO 15118-2: Road vehicles - Vehicle to grid communication interface - Part 2: Network and application protocol requirements*". International Standard, 1st Edition, Abril 2014.
- [10] "*ISO 15118-3: Road vehicles - Vehicle to grid communication interface - Part 3: Physical and data link layer requirements*". International Standard, 1st Edition, Maio 2015.
- [11] [http://smartgrid.ucla.edu/projects\\_evgrid.html](http://smartgrid.ucla.edu/projects_evgrid.html), última vez acessido a 26/01/2017.
- [12] "*Guia Técnico das Instalações Elétricas para a Alimentação de Veículos Elétricos*". Comissão Técnica de Normalização Eletrotécnica - CTE 64 Instalações Elétricas em Edifícios.
- [13] "*Formas de Carregamento de Veículos Elétricos em Portugal*". Sociedade Gestora de Operações da Rede de Mobilidade Elétrica – SGORME, Agosto 2011.

- [14] <http://blog.schneider-electric.com/electric-vehicle/2013/04/24/how-to-charge-your-electric-vehicle-safely-and-simply/>, última vez acessado a 26/01/2017.
- [15] *"Plug-In Electric Vehicles (PEVs)"*. Center for Sustainable Energy, Março 2010.
- [16] *"PEV Frequently Asked Questions"*. Duke Energy, Dezembro 2010.
- [17] *"ARRL Strengthens the Case for Mandatory BPL Notching"*. American Amateur Radio League, Dezembro 2010.
- [18] *"QCA7000 HomePlug GreenPhy Single Chip Solution - Datasheet"*. Qualcomm ATHEROS, Version 11.0, Outubro 2012.
- [19] *"Smart Charging: steering the charge, driving the change"*. EURELECTRIC, Março 2015. [http://www.eurelectric.org/media/169888/20032015\\_paper\\_on\\_smart\\_charging\\_of\\_electric\\_vehicles\\_finalpsf-2015-2301-0001-01-e.pdf](http://www.eurelectric.org/media/169888/20032015_paper_on_smart_charging_of_electric_vehicles_finalpsf-2015-2301-0001-01-e.pdf), última vez acessado a 26/01/2017.
- [20] [http://thechargingpoint.azurewebsites.net/news/honda\\_bgins\\_tests\\_on\\_smart\\_charging\\_for\\_EVs.html](http://thechargingpoint.azurewebsites.net/news/honda_bgins_tests_on_smart_charging_for_EVs.html), última vez acessado a 26/01/2017.
- [21] <http://embarquelab.com/integrantes/equipe-smart-grid/>, última vez acessado a 26/01/2017.
- [22] *"Pacific Gas and Electric Company Energizes Silicon Valley With Vehicle-to-Grid Technology"*. Pacific Gas and Electric, Abril 2007.
- [23] *"Car Prototype Generates Electricity, And Cash"*. Science Daily, Dezembro 2007.
- [24] *"The Grid-Integrated Vehicle with Vehicle to Grid Technology"*. University of Delaware, Junho 2001.
- [25] [http://smartgrid.ucla.edu/projects\\_evgrid.html](http://smartgrid.ucla.edu/projects_evgrid.html), última vez acessado a 26/01/2017.
- [26] David Archer. *"Fate of fossil fuel CO<sub>2</sub> in geologic time"*. Journal of Geophysical Research, Dezembro 2008.
- [27] H. J. Bergveld. *"Battery management systems design by modelling"*. Universiteit Twente: Royal Philips Electronics, 2011.
- [28] Sherry Boschert. *"Plug-in Hybrids: The Cars that will Recharge America"*. New Society Publishers, Gabriola Island, Canada, 2006. ISBN 978-0-86571-571-4.
- [29] H.L. Chan. *"A new battery model for use with battery energy storage systems and electric vehicles power systems"*. Power Engineering Society Winter Meeting, IEEE, 2000.
- [30] Cutler J. Cleveland e Christopher Morris. *"Dictionary of Energy"*. Amsterdam: Elsevier, 2006. ISBN 0-08-044578-0.
- [31] A. Khaligh D.C. Erb, O.C. Onar. *"Bi-directional charging topologies for plug-in hybrid electric vehicles"*. Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), IEEE, 2010.

- [32] Thomas Friedman. *"Hot, Flat, and Crowded"*. Farrar, Straus and Giroux, New York, 2008. ISBN 978-0-374-16685-4.
- [33] T. Ando H. Inaba, K. Hirasawa, M. Hombu e M. Nakazato. *"Development of a High-speed Elevator Controlled by Current Source Inverter System with Sinusoidal Input and Output"*, Vol. 28, No. 4. Ind. Appl., IEEE Trans., Julho 1992.
- [34] X. Ruan K. Jin, M. Yang e M. Xu. *"Three-Level Bidirectional Converter for Fuel-Cell/Battery Hybrid Power System"*, Vol. 57, No. 6. Ind. Electron, IEEE Trans., Junho 2010.
- [35] M.P. Kazmierkowski. *"Handbook of automotive power electronics and motor drives"*. Industrial Electronics Magazine, IEEE, 2008.
- [36] E. Knipping e M. Duvall. *"Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles Volume 1: Nationwide Greenhouse Gas Emissions"*. Electric Power Research Institute and Natural Resources Defense Council, Junho 2007.
- [37] Fernando Cesar Luiz. Smart Grid News, 2010. <http://smartgridnews.com.br/o-que-e-smart-grid/>, última vez acessado a 26/01/2017.
- [38] A. Elgowainy; A. Burnham; M. Wang; J. Molburg e A. Rousseau. *"Well-to-Wheels Energy Use and Gas Emissions Analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles"*. Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, Junho 2009.
- [39] T. Abe N. Tan e H. Akagi. *"Design and Performance of a Bidirectional Isolated DC-DC Converter for a Battery Energy Storage System"*. Power Electron, IEEE Trans., 2011.
- [40] Peter O'Connor. *"What Is Smart Charging? A Look at How Electric Vehicles Fit In"*. KENDALL SCIENCE FELLOW, Janeiro 2016.
- [41] D. M. Divan R. W. De Doncker e M. H. Kheraluwala. *"A Three-phase Soft-switched High-power-density DC/DC Converter for High Power Applications"*, Vol. 27, No. 1. Ind. Appl., IEEE Trans., Fevereiro 1991.
- [42] David B. Sandalow. *"Plug-In Electric Vehicles: What Role for Washington?"*. The Brookings Institution, 1ª edição, 2009. ISBN 978-0-8157-0305-1.
- [43] K. Mathew T. Bhattacharya, V. S. Giri e L. Umanand. *"Multiphase Bidirectional Flyback Converter Topology for Hybrid Electric Vehicles"*, Vol. 56, No. 1. Ind. Electron, IEEE Trans., Janeiro 2009.
- [44] M. Winter e R. J. Brodd. *"What are batteries, fuel cells, and supercapacitors?"*. Amsterdam: Elsevier, Outubro 2004. <http://pubs.acs.org/doi/pdfplus/10.1021/cr020730k>.