



## 3.1: Informe técnico del sistema de control y determinación de criterios de flujo de energía

Emissor (es): Universidad de Sevilla, Universidade do Algarve

Data: 02.10.2021

# Índice

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Resumen del proyecto .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>2. Resumen del documento .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>3. Sistema de control de energía de la estación de recarga.....</b>                                     | <b>12</b> |
| 3.1. Descripción del algoritmo EMS.....  | 12        |
| 3.1.1. Métodos heurísticos .....   | 12        |
| 3.1.2. Métodos basados en optimización.....  | 14        |
| 3.2. Resultados de simulación .....  | 19        |
| 3.2.1. Demanda utilizada en las primeras simulaciones.....   | 19        |
| 3.2.2. Primeras simulaciones.....  | 20        |
| 3.2.3. Simulaciones con datos de la microrred de la Rábida, Huelva. ....                                   | 25        |
| 3.3. Implementación. Comunicación Matlab-Labview .....   | 28        |
| 3.3.1. Introducción. ....  | 28        |
| 3.3.2. Software necesario.....   | 28        |
| 3.3.3. Configuración del servidor y creación de los clientes .....   | 30        |
| 3.3.4. Cliente OPC en Matlab-Simulink .....  | 32        |
| 3.3.5. Cliente OPC en LabView .....  | 35        |
| <b>4. Intercambio de Energia entre Posto de Carregamento e Veículo Elétrico .....</b>                      | <b>39</b> |
| 4.1. Arquitetura e Critérios de Fluxo .....  | 39        |
| 4.1.1. Fluxos de Potência.....   | 41        |
| 4.1.2. Modelo da Bateria .....   | 46        |
| 4.2. Comunicação entre Equipamento de Carga e Veículo Elétrico .....                                       | 50        |
| 4.2.1. Protocolo de Sinalização através dos Pinos CP e PP.....   | 50        |
| 4.2.2. Protocolo de Comunicação de Alto Nível da Norma ISO 15118.....                                      | 55        |
| 4.2.3. Biblioteca open-source RISE V2G .....   | 80        |
| 4.2.4. Desenvolvimento e Emulação do Sistema de Comunicação .....  | 82        |
| 4.3. Otimização da Gestão de Carregamentos para Frotas de Veículos Elétricos em Contextos Turísticos ..... | 121       |
| 4.3.1. Otimização de distribuição de carregamentos, utilizando Algoritmos Genéticos Multiobjectivo .....   | 121       |
| 4.3.2. Estrutura dos Algoritmos Genéticos.....   | 129       |
| 4.3.3. Condições de Teste do Simulador .....   | 133       |

4.3.4. Teste inicial ao Simulador..... 138

4.3.5. Simulação de Cenário completo ..... 143

**ANEXOS .....149**

A. *Parâmetros de Monitorização..... 149*

B. *Parâmetros de carregamento trocados entre o equipamento de carga e veículo elétrico, de acordo com o protocolo de comunicação ISO 15118 ..... 152*

C. *Código comunicação Matlab – Labview..... 165*

**Referências.....167**

# Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 3-1. Control por Banda de Histéresis .....  | 13 |
| Figura 3-2. Esquema de Control por Lógica Difusa .....   | 14 |
| Figura 3-3. Estructura del Control Predictivo Basado en Modelo .....   | 15 |
| Figura 3-4. Estrategia de Control Predictivo Basado en Modelo .....  | 16 |
| Figura 3-5. Demanda simulada .....   | 19 |
| Figura 3-6. Balances de potencias de un día con baja generación solar y cero eólica .....  | 20 |
| Figura 3-7. Niveles de SOC y LOH de un día con baja generación solar y cero eólica .....   | 20 |
| Figura 3-8. Balances de potencias de un día soleado y cero generación eólica .....   | 21 |
| Figura 3-9. Niveles de SOC y LOH de un día soleado y cero generación eólica .....  | 21 |
| Figura 3-10. Balances de potencias de un día soleado y con viento .....  | 22 |
| Figura 3-11. Niveles de SOC y LOH de un día soleado y con viento .....   | 22 |
| Figura 3-12. Balances de potencias de un día nublado y cero generación eólica .....  | 23 |
| Figura 3-13. Niveles de SOC y LOH de un día nublado y cero generación eólica .....   | 23 |
| Figura 3-14. Balances de potencias de un día nublado y con viento .....  | 24 |
| Figura 3-15. Niveles de SOC y LOH de un día nublado y con viento .....   | 24 |
| Figura 3-16. Balance de potencias para un día con 3 vehículos y un stack de baterías .....   | 25 |
| Figura 3-17. Niveles de carga de baterías e hidrógeno para un día con 3 vehículos y un stack de baterías .....                               | 26 |
| Figura 3-18. Balance de potencias para un día con 10 vehículos y 2 stacks de baterías .....  | 27 |
| Figura 3-19. Niveles de carga de baterías e hidrógeno para un día con 10 vehículos y 2 stacks de baterías .....                              | 27 |
| Figura 4-1-Arquitetura do Sistema Interno de uma estação de carregamento de Veículos Elétricos .....   | 41 |
| Figura 4-2-Fluxos de Potência no barramento DC: parte superior, blocos arquitetura, parte inferior, representação trocas bidirecionais ..... | 43 |
| Figura 4-3-Sistema com adição dos fluxos de Potência no barramento AC .....  | 46 |
| Figura 4-4-Curvas típicas de descarga de baterias (retirada de [4]) .....  | 47 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 4-5-Curva de descarga típica adaptada de [3] .....                            | 48 |
| Figura 4-6 - Circuito de Sinalização IEC 61851 [1], [2].....                         | 51 |
| Figura 4-7 - Gráfico dos Estados CP .....  | 54 |
| Figura 4-8 - Variação da Corrente com o Duty Cycle [7].....                          | 55 |
| Figura 4-9 - ISO 15118 e o Modelo OSI.....   | 56 |
| Figura 4-10 - Modelo Cliente-Servidor do Protocolo de Comunicação da ISO 15118 ..... | 58 |
| Figura 4-11 - Mensagem SECCDiscovery .....   | 59 |
| Figura 4-12 - Mensagem SupportedAppProtocol .....                                    | 60 |
| Figura 4-13 - Mensagem V2G SessionSetup .....  | 61 |
| Figura 4-14 - Mensagem V2G ServiceDiscovery .....                                    | 61 |
| Figura 4-15 - Mensagem V2G ServiceDetails .....                                      | 62 |
| Figura 4-16 - Mensagem V2G PaymentServiceSelection.....                              | 63 |
| Figura 4-17 - Mensagem V2G CertificateUpdate .....                                   | 64 |
| Figura 4-18 - Mensagem V2G CertificateInstallation.....                              | 64 |
| Figura 4-19 - Mensagem V2G PaymentDetails .....                                      | 65 |
| Figura 4-20 - Mensagem V2G Authorization .....                                       | 66 |
| Figura 4-21 - Mensagem V2G ChargeParameterDiscovery .....                            | 67 |
| Figura 4-22 - Mensagem V2G PowerDelivery .....                                       | 69 |
| Figura 4-23 - Mensagem V2G ChargingStatus.....                                       | 70 |
| Figura 4-24 - Mensagem V2G MeteringReceipt.....                                      | 71 |
| Figura 4-25 - Mensagem V2G CableCheck .....  | 72 |
| Figura 4-26 - Mensagem V2G PreCharge.....  | 73 |
| Figura 4-27 - Mensagem V2G CurrentDemand.....  | 74 |
| Figura 4-28 - Mensagem V2G WeldingDetection .....                                    | 75 |
| Figura 4-29 - Mensagem V2G SessionStop.....  | 76 |
| Figura 4-30 - Fluxograma dos Tipos de Mensagens V2G [18].....                        | 78 |
| Figura 4-31 - Esquema Geral do Sistema de Comunicação .....                          | 82 |
| Figura 4-32 - Arquitetura do Sistema de Comunicação .....                            | 84 |
| Figura 4-33 - Gráficos das Técnicas de Carregamento CC e CV .....                    | 88 |
| Figura 4-34 - Diagrama de Estados do Código de Gestão do EVpi.....                   | 89 |
| Figura 4-35 - Ciclo de Tarifas Diárias.....  | 94 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4-36 - Diagrama de Estados do Código de Gestão do EVSEpi .....               | 95  |
| Figura 4-37 - Conjugação de Estados dos Códigos de Gestão do EVpi e EVSEpi .....    | 98  |
| Figura 4-38 - HMI EV Definição Inicial de Parâmetros .....                          | 99  |
| Figura 4-39 - HMI EV Cálculo de Energia Necessária e Início de Carregamento .....   | 100 |
| Figura 4-40 - HMI EV Loop de Carregamento CC e Loop de Carregamento CV .....        | 101 |
| Figura 4-41 - HMI EV Fim de Carregamento .....                                      | 103 |
| Figura 4-42 - HMI EV Interrupção de Carregamento .....                              | 104 |
| Figura 4-43 - HMI EV Fim da Sessão de Comunicação .....                             | 105 |
| Figura 4-44 - HMI EVSE Definição Inicial de Parâmetros .....                        | 106 |
| Figura 4-45 - HMI EVSE Aguardando Comunicação .....                                 | 107 |
| Figura 4-46 - HMI EVSE Início de Carregamento .....                                 | 108 |
| Figura 4-47 - HMI EVSE Loop de Carregamento .....                                   | 109 |
| Figura 4-48 - HMI EVSE Fim de Carregamento .....                                    | 110 |
| Figura 4-49 - Escalonamento de Tarefas do Sistema de Comunicação .....              | 112 |
| Figura 4-50 - Loops do Algoritmo de Escalonamento de Tarefas .....                  | 112 |
| Figura 4-51 - Divisão de Tarefas no Tempo do Algoritmo de Escalonamento .....       | 113 |
| Figura 4-52 - Erro de Transmissão associado ao Sistema.....                         | 115 |
| Figura 4-53 - Amostragem Comparativa .....  | 115 |
| Figura 4-54 - Esquema de Troca de Parâmetros do Sistema.....                        | 116 |
| Figura 4-55 - Resultado Final do Sistema Emulador de Carga.....                     | 118 |
| Figura 4-56 - Gráfico de Carregamento (Comportamento da Corrente e Tensão) .....    | 119 |
| Figura 4-57 - Gráfico de Carregamento (Comportamento da Energia e Custo) .....      | 120 |
| Figura 4-58-Parâmetros de Entrada.....  | 122 |
| Figura 4-59- 1ª Árvore de decisão relativo ao excesso de energia fotovoltaica ..... | 125 |
| Figura 4-60- Topologias de Payback .....  | 126 |
| Figura 4-61- Estrutura da trama do trajeto dos VE .....                             | 130 |
| Figura 4-62-Estrutura dos cromossomas (cada Indivíduo) .....                        | 130 |
| Figura 4-63- Processo de crossover e mutação .....                                  | 131 |
| Figura 4-64- Fluxograma funcionamento Simulador .....                               | 132 |
| Figura 4-65-Ciclomotor L2e-U .....  | 134 |
| Figura 4-66-Curva geração ISE.....  | 135 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4-67-ciclo diário (verão começa no último domingo de março; inverno começa no último domingo de outubro).....                                  | 137 |
| Figura 4.68-Outputs do simulador .....  | 139 |
| Figura 4.69-Representação dos 3 tipos de Fitness, a verde Fitness 1, a azul Fitness 2, vermelho Fitness 3 .....                                       | 140 |
| Figura 4.70- Evolução do SoC das unidades de armazenamento local por EVSE .....   | 141 |
| Figura 4.71- Autoconsumo ao longo do dia por EVSE (alocação de cargas e PV), 30 Indivíduos, 1 Geração .....   | 142 |
| Figura 4.72- Representação de Fitness por geração .....   | 145 |
| Figura 4.73- Autoconsumo resultante da 100 <sup>a</sup> Geração, com consumos ao longo do dia por EVSE (alocação de cargas e PV), 30 Indivíduos ..... | 146 |





# 1. Resumen del proyecto

---

El proyecto Transporte Turístico Urbano Sostenible-T<sup>2</sup>UES, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa INTERREG V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020, pretende potenciar el desarrollo tecnológico de una red de vehículos eléctricos combinada con puntos de recarga inteligentes y ambientalmente sostenibles, para equipar las áreas turísticas de Huelva y El Algarve.

De forma más concreta, el proyecto T<sup>2</sup>UES pretende:

- Promover la industria del transporte eléctrico alimentado por fuentes de energía renovables en la región de Andalucía y El Algarve.
- Incentivar la implementación de una red de transporte ligera, ecológica e intraurbana, con el fin de mitigar los problemas de congestión durante las épocas de alta demanda turística.
- Fortalecer el turismo como actividad económica, impulsándolo a partir de los pilares de la calidad ambiental y la vanguardia tecnológica.

**Los resultados que producirá el proyecto son:**

- Diseño y validación de una estación de recarga escalable alimentada únicamente por fuentes de energía renovable.
- Adaptación de diversos vehículos ligeros del socio PMF a las necesidades del proyecto. Esto incluirá una consola de información que mostrará al usuario el estado del vehículo y de la estación de recarga (disponibilidad de baterías cargadas en el rack, orden de recarga, etc).
- Sistema de control inteligente para la optimización de los flujos de energía entre ella, los sistemas generadores y los vehículos. Las capacidades del sistema incluirán el realizar estimaciones de la llegada de vehículos a la estación, de aportación de energía de los generadores, el gestionar los vehículos conectados a la estación también como proveedores de energía según su estado y necesidades, etc.
- Software de servicios que intercambiará información con la estación y los vehículos. A la estación le proveerá información acerca del estado de carga de los vehículos, su localización, etc., mientras que recibirá información de ella que mostrará al usuario, tal como disponibilidad de baterías intercambiables cargadas, orden para recarga en la estación, etc.
- Establecimiento de una red de trabajo y promoción del ecosistema de transporte intraurbano y ecológico constituida por los socios del proyecto y entidades públicas, privadas y prensa.

- Realización de demostraciones en el Campus de La Rábida de la UHU para validar y promocionar la tecnología desarrollada.

**Las actividades técnicas que se llevarán a cabo para alcanzar los objetivos y resultados son:**



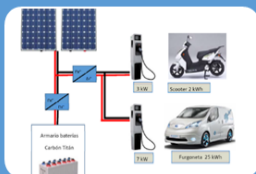
**ACTIVIDAD 1.** Análisis y estudio preliminar de los entornos potenciales y tecnologías implicadas

- Entornos más adecuados para la instalación de los puntos de recarga.
- Especificaciones de los vehículos eléctricos y estaciones de recarga.
- Establecimiento de las características del software para el usuario final



**ACTIVIDAD 2.** Análisis, diseño y desarrollo de las estaciones de recarga y de los vehículos eléctricos

- Análisis y dimensionado de las fuentes de EERR integradas, y diseño de las estaciones de recarga.
- Desarrollo de las estaciones de recarga
- Desarrollo/adaptación de los vehículos eléctricos



**ACTIVIDAD 3.** Diseño e implementación del sistema de control inteligente y de la arquitectura software de servicios

- Diseño del sistema de control y determinación de criterios de flujo de energía
- Implementación y validación del sistema de control.
- Implementación y validación de la arquitectura software de servicios



**ACTIVIDAD 4.** Fabricación de prototipos y demostración

- Demostrador de estación de recarga y vehículos eléctricos
- Estación de recarga y vehículos prototipo evaluados en entorno simulado

En el proyecto liderado por la Universidad de Huelva (UHU) participan además los socios:

- Universidad de Sevilla (US)
- Passion Motorbike Factory S.L. (PMF)
- Universidade do Algarve (UALG)
- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)
- Agência Regional de Energia e Ambiente do Algarve (AREAL)
- AGILIA CENTER SL (AGL)
- Fundación Instituto Tecnológico de Galicia (ITG)
- Agencia Andaluza de la Energía (AAE)

Cuenta para su ejecución con un presupuesto de: 1.173.639,15 € (COFINANCIACION FEDER 75% 880.229,36 €) y tiene una duración de 31 meses (inicio a 24 de mayo de 2019 y tiene como fecha prevista de finalización el 5 de abril de 2022).

## 2. Resumen del documento

---

Este entregable recoge las actividades realizadas en la Acción 3.1: Diseño del sistema de control y determinación de criterios de flujo de energía.

Tanto las estaciones de recarga como los propios vehículos están equipados con distintos sistemas de almacenamiento y generación de energía. A partir de los requerimientos del sistema establecidos en el entregable E1.2 (Informe técnico de análisis de requisitos del sistema de control de energía y del software de servicio para las aplicaciones de usuario del conjunto del sistema), en este documento se estudian los flujos de intercambio de energía entre todos los dispositivos conectados a la red. Uno de los objetivos principales es que el sistema de control establezca prioridades de recarga en función del recorrido planificado por el usuario, el estado de carga de los vehículos conectados a la estación, la disponibilidad y distribución de los puntos de recarga del entorno, y la cantidad de energía que se esté generando entre todos los componentes, atendiendo a los objetivos y prioridades recogidos en el entregable E1.3 (Análisis de requisitos del sistema de control de energía y del software de servicios).

En este documento se presenta el sistema de control de la energía de la estación de recarga y el intercambio de energía entre ésta y los vehículos eléctricos. Se describen la metodología de control, las simulaciones y la implementación.

## 3. Sistema de control de energía de la estación de recarga

---

### 3.1. Descripción del algoritmo EMS

Un sistema de Gestión Energética o *Energy Management System* (EMS) se encarga de gestionar correctamente la generación y la demanda energéticas, de manera que el almacenamiento de energía y la red externa permitan satisfacer el balance en el sistema, permitiendo un uso eficiente de los diferentes componentes de la planta.

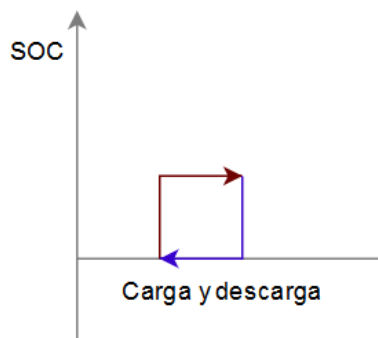
Existen muchas metodologías para implementar un EMS. Dentro de los posibles sistemas de control, podemos diferenciar dos categorías: métodos heurísticos y métodos basados en optimización. En este documento nos centraremos en el segundo, más concretamente en el Control Predictivo basado en Modelo (MPC por sus siglas en inglés).

#### 3.1.1. Métodos heurísticos

Los métodos heurísticos permiten controlar sistemas de forma simple pero eficaz, lo que hace de ellos buenas técnicas de control para sistemas de energía relativamente sencillos. Es por esto por lo que su uso está muy extendido en pequeñas microrredes. Dentro de esta categoría podemos destacar dos métodos muy utilizados en sistemas de energía: el control por banda de histéresis y el control mediante lógica difusa.

##### *3.1.1.1. Control por banda de histéresis*

Este método es el más simple para controlar sistemas de potencia y plantas energéticas. Mediante este sistema, las unidades de almacenamiento de la estación de recarga (microrred) absorben o ceden potencia de acuerdo con una banda de histéresis definida por los límites en su estado de carga o SOC. Estas unidades absorben el exceso energético hasta llegar a su estado de carga máximo, momento en el cual será necesario ceder potencia a la red externa o parar la generación. En el caso de existir un déficit de potencia, cederán energía hasta alcanzar el límite inferior en su SOC. En ese momento, será necesario desconectar cargas o absorber potencia de la red.



**Figura 3-1.** Control por Banda de Histéresis

### 3.1.1.2. Control mediante lógica difusa

Por otro lado, existen los sistemas de Control de Lógica Difusa (*Fuzzy Logic*), que permiten manejar datos imprecisos e incompletos. Su funcionamiento se basa en una cuantificación de determinadas características a partir de información proporcionada por diferentes expertos en cada campo.

En la Figura 2 se muestra la estructura del Control de Lógica Difusa. En primer lugar, los datos de entrada pasan por un proceso de emborronamiento o *fusificación*, en el que se otorga un valor numérico a características cualitativas. Posteriormente se toman decisiones de acuerdo con unas relaciones lógicas conocidas como reglas borrosas o difusas. Finalmente, en la etapa de desemborronamiento o *defusificación*, se obtienen datos concretos, requeridos por los sistemas controlables.



**Figura 3-2.** Esquema de Control por Lógica Difusa

Aunque los métodos heurísticos resulten atractivos debido a su simplicidad, esta misma propiedad es la que los hace poco adecuados a la hora de controlar sistemas complejos. Además, no son capaces de proporcionar soluciones óptimas, lo que conlleva la necesidad de utilizar métodos basados en optimización.

### 3.1.2. Métodos basados en optimización

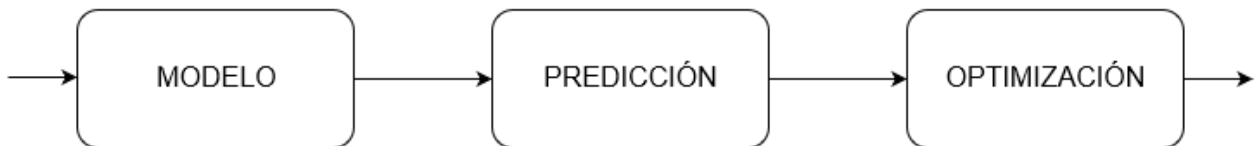
La gestión de la demanda en una microrred se puede entender como la resolución de un problema de optimización atendiendo a un determinado criterio, que suele ser energético o económico. El objetivo de este problema es la minimización de una función de coste sujeta a una serie de restricciones que definen los límites de funcionamiento de la microrred. La solución proporcionará los flujos óptimos de potencia para satisfacer las restricciones y el criterio establecido.

Dependiendo del interés de control, la función de coste se adaptará según diferentes objetivos. Normalmente, se pretende que las salidas sigan una determinada trayectoria de referencia  $w$  con el menor esfuerzo  $\Delta u$  posible. En algunas ocasiones, también tiene en cuenta las señales de control  $u$  directamente, y no solo su incremento, para así minimizar el consumo energético y, en consecuencia, económico.

$\delta(j)$  y  $\lambda(j)$  son los pesos de la función de coste, que están asociados, en la mayoría de los casos, a costes de mantenimiento y operación. En este caso, cuanto mayor sea  $\lambda(j)$ , mayor será la penalización sobre el incremento de control, y cuanto mayor sea  $\delta(j)$ , mayor será la penalización sobre el error de seguimiento de referencia. Mediante el uso de los pesos, se consigue que el cumplimiento de unos objetivos prevalezca sobre el de otros.

### 3.1.2.1. Control predictivo basado en modelo

El Control Predictivo Basado en Modelo (CPBM), más conocido por siglas en inglés, *Model Predictive Control* (MPC) se basa en la optimización de una función de coste calculada mediante un modelo dinámico del proceso. Dicha función, también llamada función objetivo, representa el coste de la actuación según un determinado criterio. Una vez que se obtiene el modelo, se realiza una predicción del estado del sistema en un futuro cercano y, de acuerdo con ella, se calculan las señales de control óptimas a introducir en el sistema. Esto permite realizar un control en línea sin necesidad de una ley de control preestablecida como en los sistemas de control convencionales. En la Figura 3 se muestra la estructura de control del MPC.



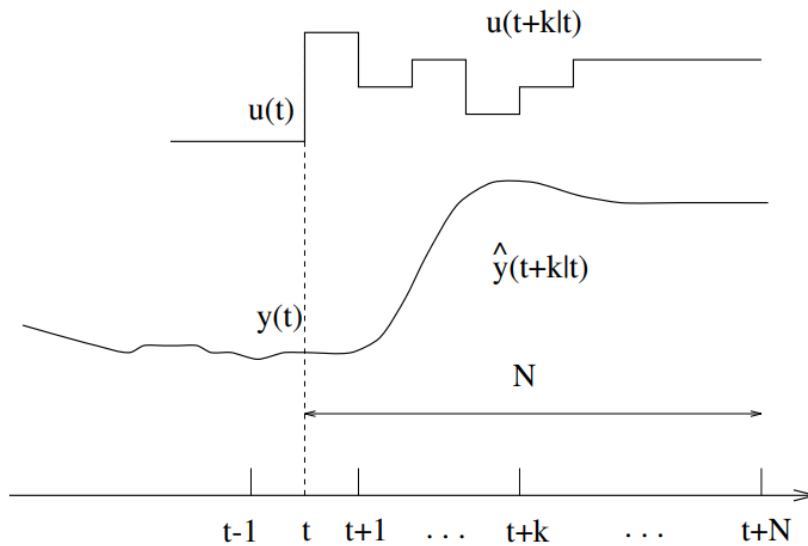
**Figura 3-3.** Estructura del Control Predictivo Basado en Modelo

Un controlador predictivo se encarga de calcular las señales de control óptimas que es necesario introducir en el sistema controlado a lo largo de un horizonte. Para ello, debe optimizar una función de coste y satisfacer unas restricciones determinadas, a la vez que compensar las posibles perturbaciones. El horizonte de predicción  $N$  es el horizonte en el cual se realizan las predicciones del estado del sistema. Para ello, se necesita modelar con cierta exactitud su comportamiento. El modelo del sistema proporcionará la predicción de las salidas calculadas en el instante  $t$ ,  $\hat{y}(t + k|t)$ , con  $k = 1, \dots, N$ , dadas las salidas obtenidas en el pasado y las futuras señales de control  $u(t + k|t)$ , con  $k = 0, \dots, N - 1$ .

El modelo del sistema tendrá la siguiente forma, donde  $N_u$  es el horizonte de control, a partir del cual se consideran constantes las señales de control.

$$\hat{y}(t + k|t) = f(y(t), u(t|t), u(t + 1|t), \dots, u(t + N_u|t)), N_u < N$$

En la Figura 4 se muestra la estrategia de control deslizante. En cada instante de tiempo  $t$ , se calculan las señales de control necesarias a lo largo del horizonte de control  $u(t + k|t)$ , con  $k = 0, \dots, N - 1$ , se envían las señales de control calculadas para dicho instante  $u(t|t)$  (el resto de las componentes de la secuencia de control se desecha) y el horizonte se desplaza hacia el futuro. Debido a las perturbaciones medidas, las señales de control para un mismo instante variarán según el momento en el que fueron calculadas, es decir,  $u(t + k|t + k) \neq u(t + k|t)$ .



**Figura 3-4.** Estrategia de Control Predictivo Basado en Modelo



Para representar la relación entre las salidas y las entradas del sistema (algunas de las cuales serán perturbaciones) es necesario un modelo matemático que describa el comportamiento que se espera del sistema. El modelo elegido en este caso es una representación en Espacio de Estados. La siguiente ecuación presenta el aspecto básico de este tipo de modelo:

$$\begin{cases} x(t+1) = Ax(t) + Bu(t) + B_d d(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases}$$

Siendo  $y$ ,  $x$ ,  $u$  y  $d$  los vectores asociados a las salidas, el estado, las entradas controlables y las perturbaciones, respectivamente.

El vector de estados está conformado por el SOC (State Of Charge) del bus de baterías de plomo y el LOH (Level Of Hydrogen) del tanque de hidrógeno.

$$x = \begin{bmatrix} SOC \\ LOH \end{bmatrix}$$

El vector de perturbaciones  $d$  se trata de un vector que representa la potencia neta. La  $P_{neta}$ , es el resultado de la diferencia entre la potencia generada de forma renovable (fuente fotovoltaica y eólica) y la potencia demandada, que se consideran dentro de las perturbaciones.

$$d = [P_{neta}]$$

El vector  $u$  de entradas controlables, en el caso de esta microrred, está formado por la potencia destinada a la pila de hidrógeno ( $P_{FC}$ ) y la potencia que se compra o vende a la red de distribución ( $P_{grid}$ ).

$$u = \begin{bmatrix} P_{FC} \\ P_{grid} \end{bmatrix}$$

Estas potencias se calculan minimizando una función de costes  $J$ , satisfaciendo una serie de restricciones. Esta función suele tener la siguiente forma:

$$J(\hat{y}(t+1|t), \dots, \hat{y}(t+N|t), \Delta u(t), \Delta u(t+1), \dots, \Delta u(t+N_u-1)) = \\ = \sum_{j=1}^N \delta(j) [\hat{y}(t+j|t) - w(t+j)]^2 + \sum_{j=1}^{N_u} \lambda(j) [\Delta u(t+j-1)]^2$$

La ecuación de balance de potencias del sistema queda de la forma:

$$P_{neta} + P_{FC} + P_{grid} + P_{bat} = 0$$

La potencia  $P_{bat}$  es la potencia del bus de baterías de plomo. Esta potencia se considera variable del sistema, calculándose como resultado del cumplimiento de la ecuación de balance ( $P_{neta}$  es dato y tanto  $P_{FC}$  como  $P_{grid}$  son resultado de la minimización de  $J$ )

3.2. Resultados de simulación

3.2.1. Demanda utilizada en las primeras simulaciones

Demanda compuesta por los vehículos propuestos en el proyecto separados en diferentes tramos del día.

| VEHÍCULO             | POTENCIA BATERÍA<br>kWh | POTENCIA CARGA<br>SIMULACIÓN<br>kWh | HORA INICIO CARGA |
|----------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 1.TAILG –UMEAL.      | 1.248                   | 0.7                                 | 12:00             |
| 2.TMEC–509           | 2.7                     | 1.25                                | 16:00             |
| 3.E-MAX VS1 L3e      | 2.7                     | 1.56                                | 16:30             |
| 4.DOFERN DF02 –3000W | 2.4                     | 1.8                                 | 19:00             |
| 5.DOFERN DF02 –5000W | 2.4                     | 0.78                                | 12:30             |
| 6.VIGOROUS V28 L5e   | 2.88                    | 2                                   | 13:00             |
| 7.CENNTRO METRO      | 1.56                    | 0.59                                | 13:48             |
| 8.CRRCUT TZh -22     | 2.88                    | 0.7                                 | 11:00             |

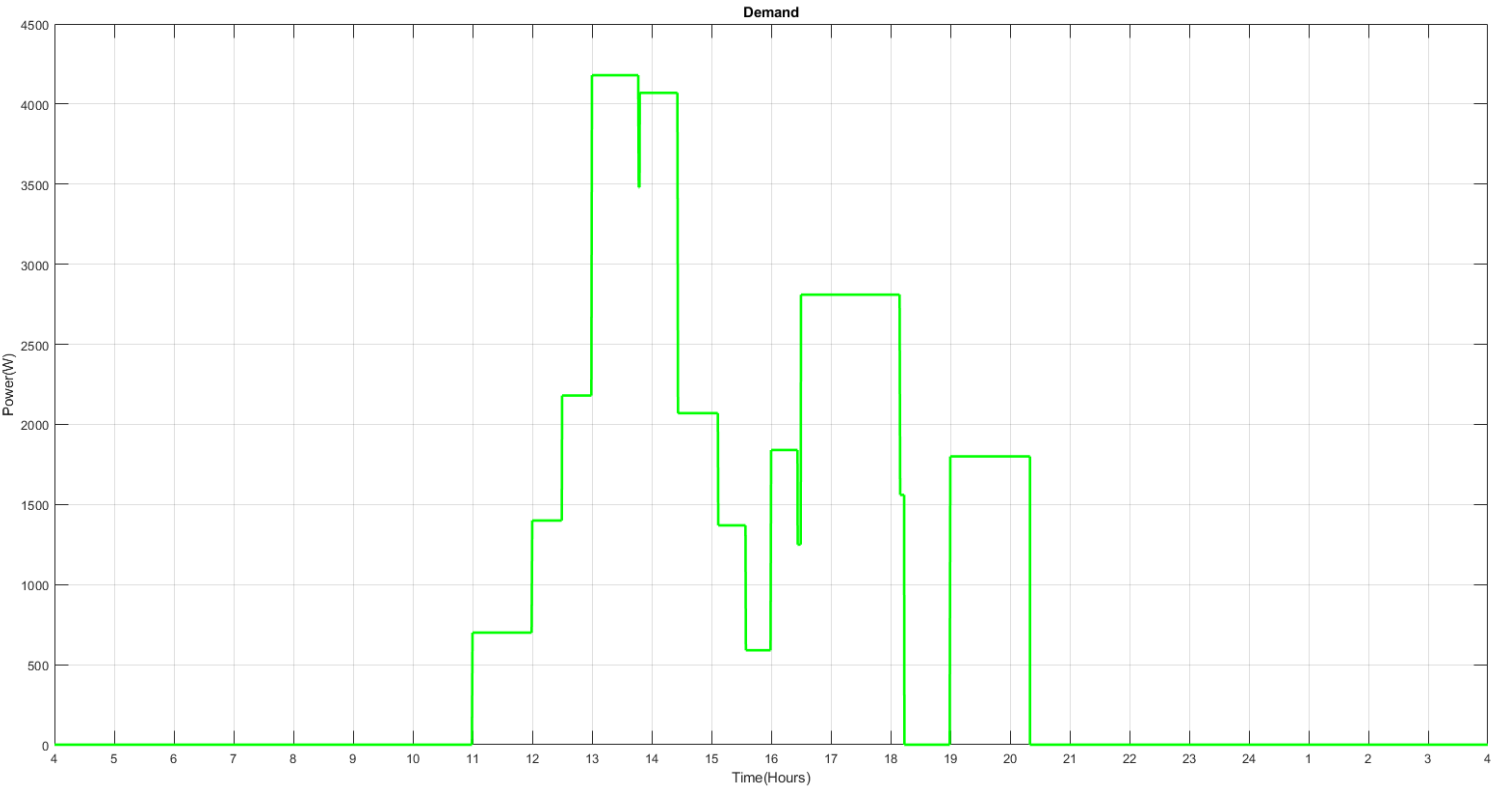
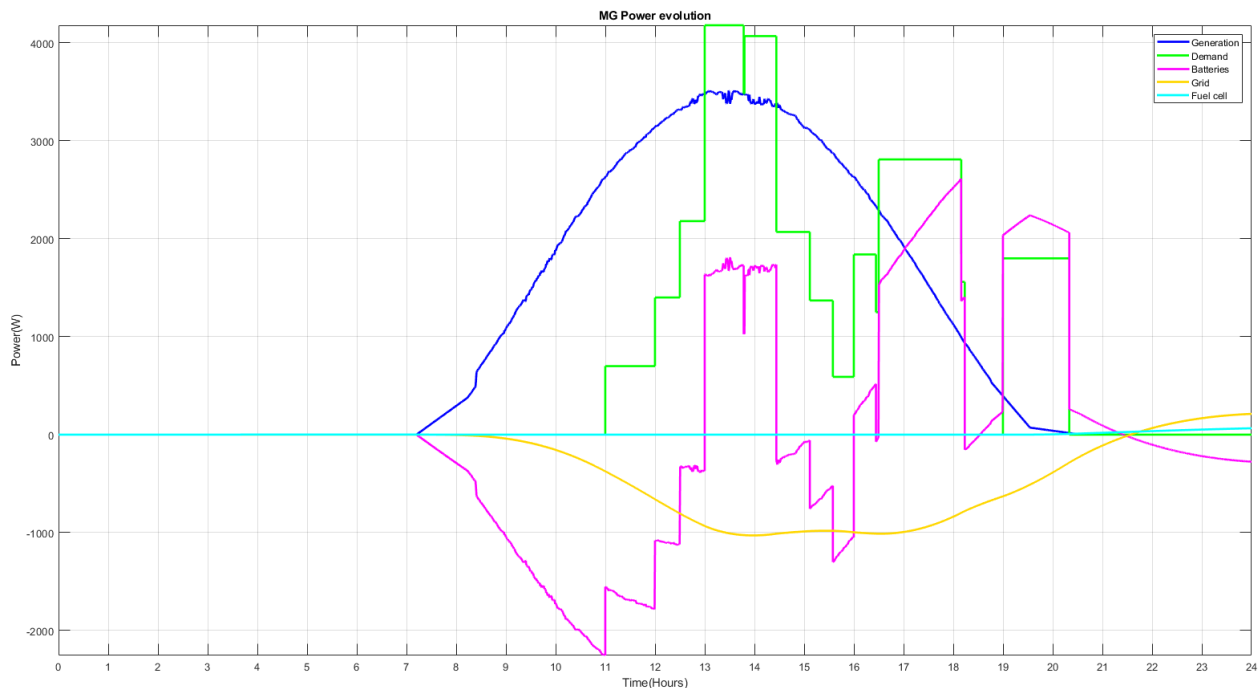


Figura 3-5. Demanda simulada

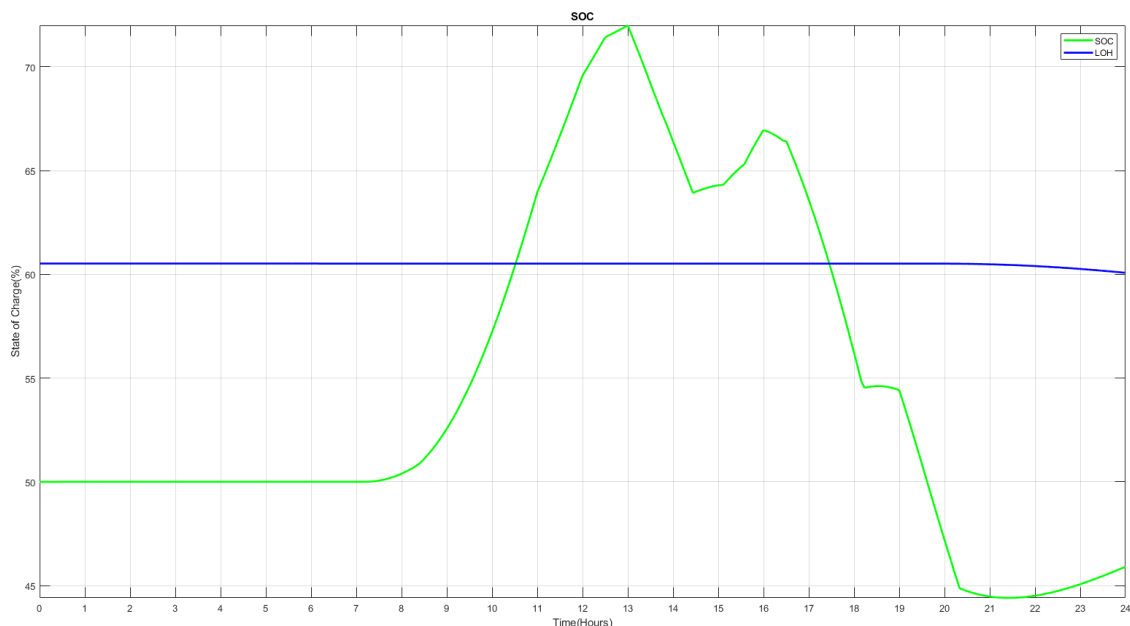
### 3.2.2. Primeras simulaciones

A continuación, se presentan una serie de simulaciones iniciales utilizando perfiles de generación de históricos anteriores. La curva de demanda utilizada es la mostrada anteriormente, calculada a partir de la carga de los diferentes vehículos propuestos en el proyecto.

#### 3.2.2.1. Baja generación solar y nula generación eólica

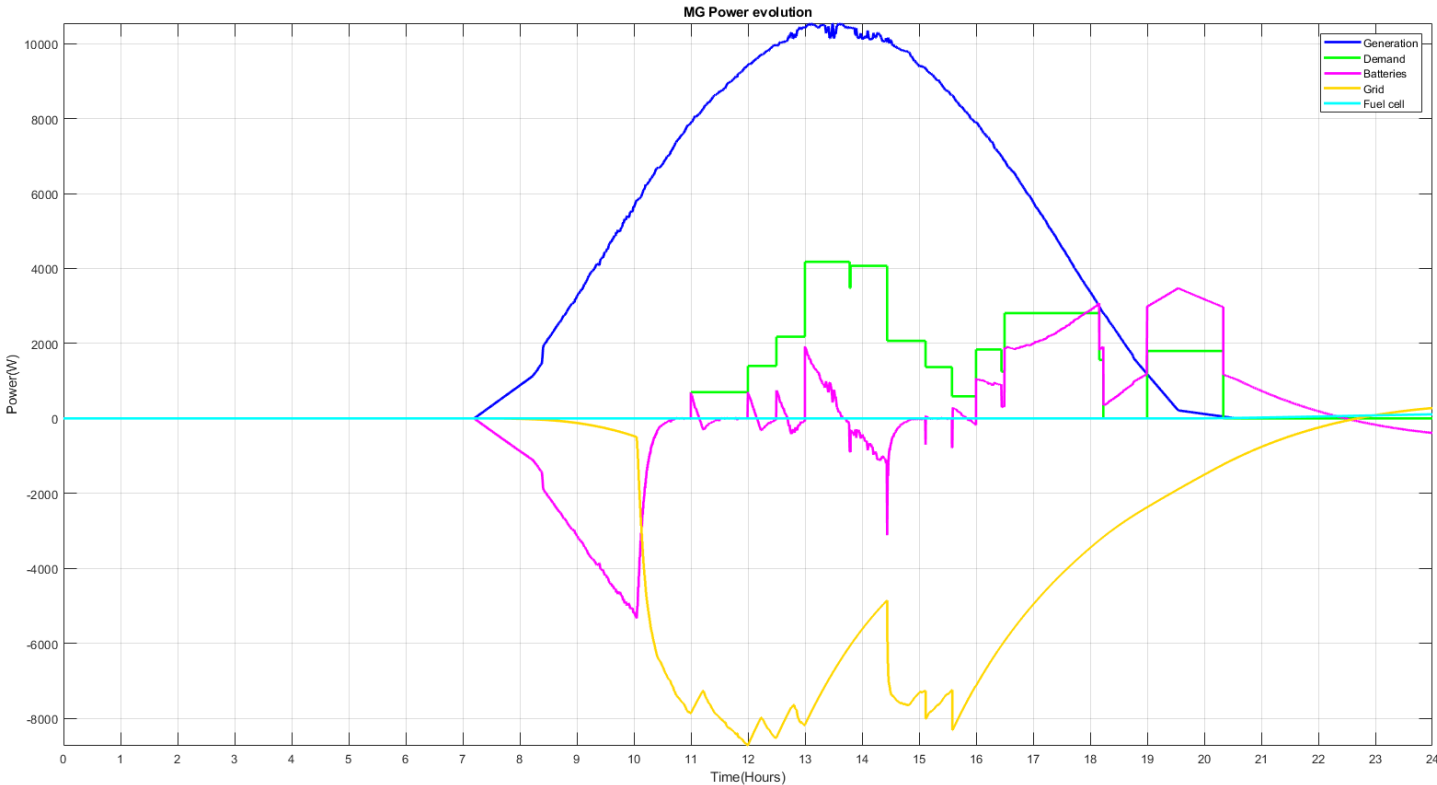


**Figura 3-6.** Balances de potencias de un día con baja generación solar y cero eólica

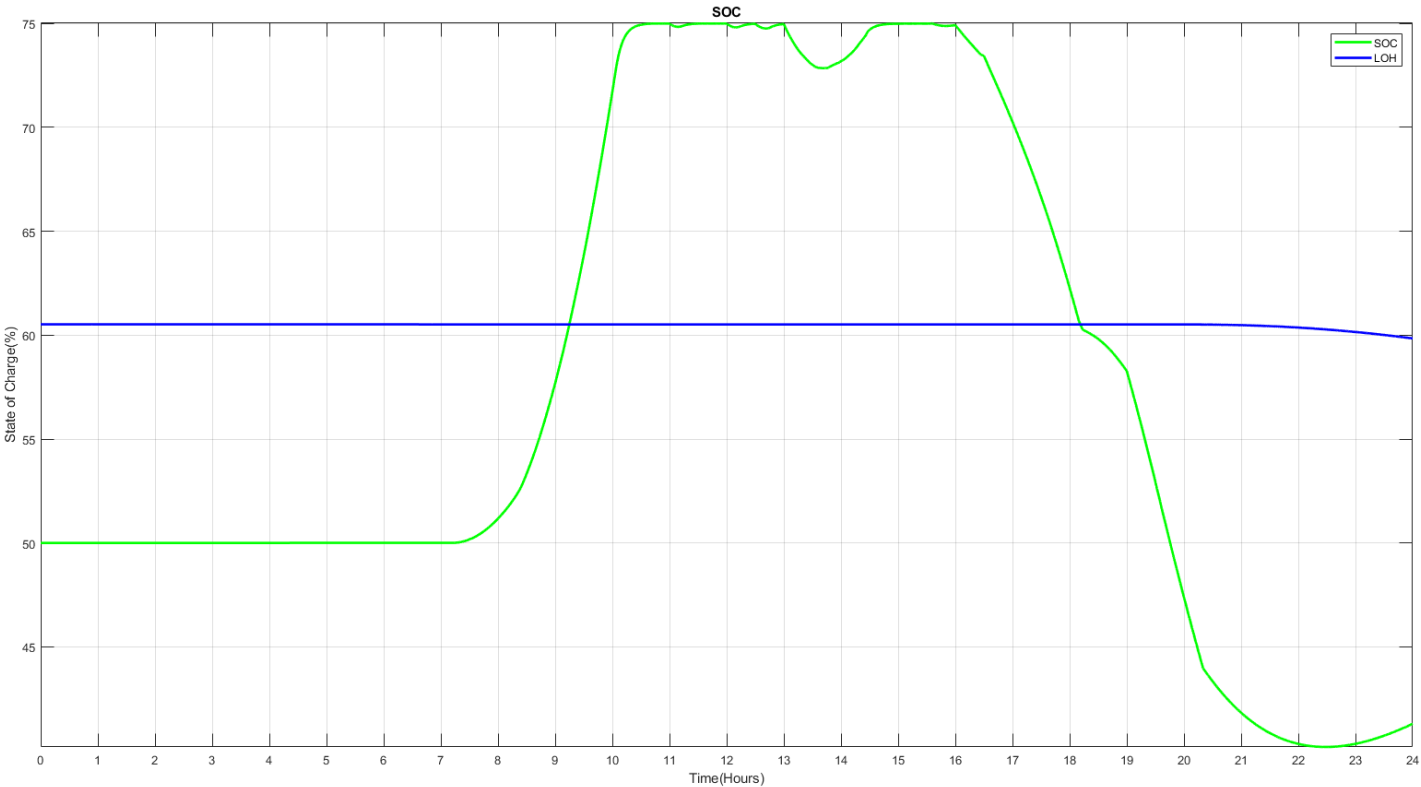


**Figura 3-7.** Niveles de SOC y LOH de un día con baja generación solar y cero eólica

3.2.2.2. *Generación solar de un día soleado y nula generación eólica*



**Figura 3-8.** Balances de potencias de un día soleado y cero generación eólica



**Figura 3-9.** Niveles de SOC y LOH de un día soleado y cero generación eólica

3.2.2.3. Generación solar de un día soleado con generación eólica

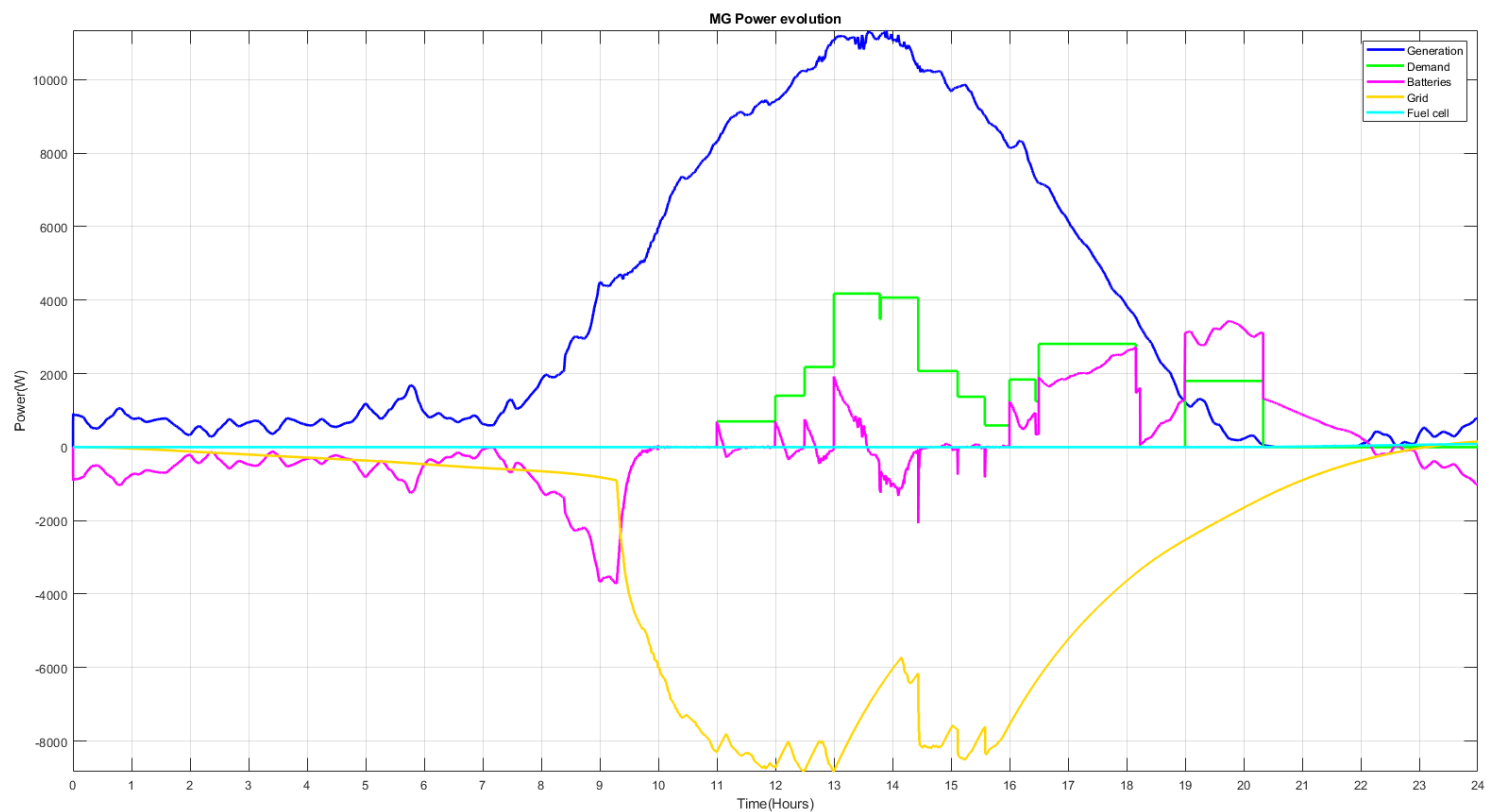


Figura 3-10. Balances de potencias de un día soleado y con viento

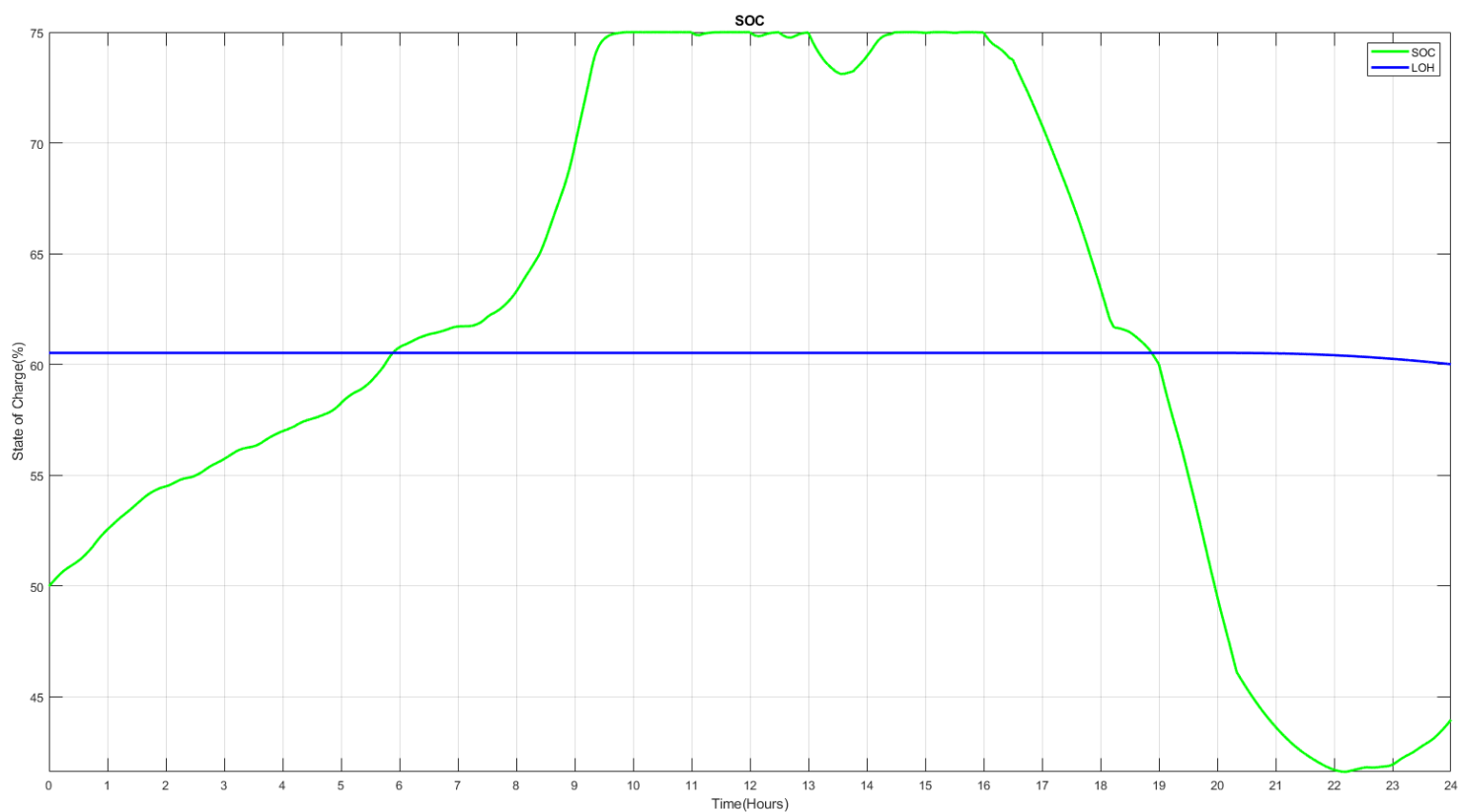


Figura 3-11. Niveles de SOC y LOH de un día soleado y con viento

3.2.2.4. Generación solar de un día nublado sin generación eólica

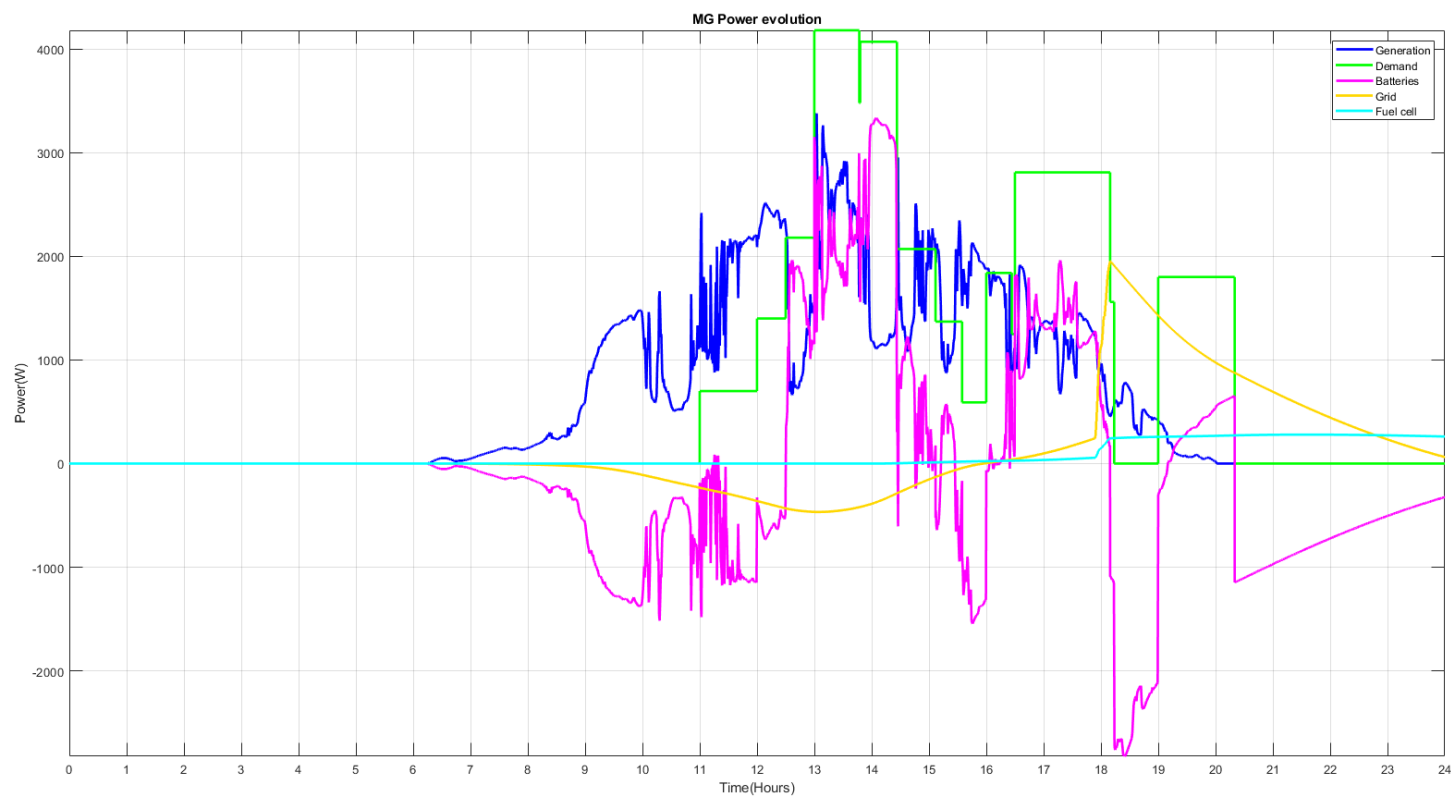


Figura 3-12. Balances de potencias de un día nublado y cero generación eólica

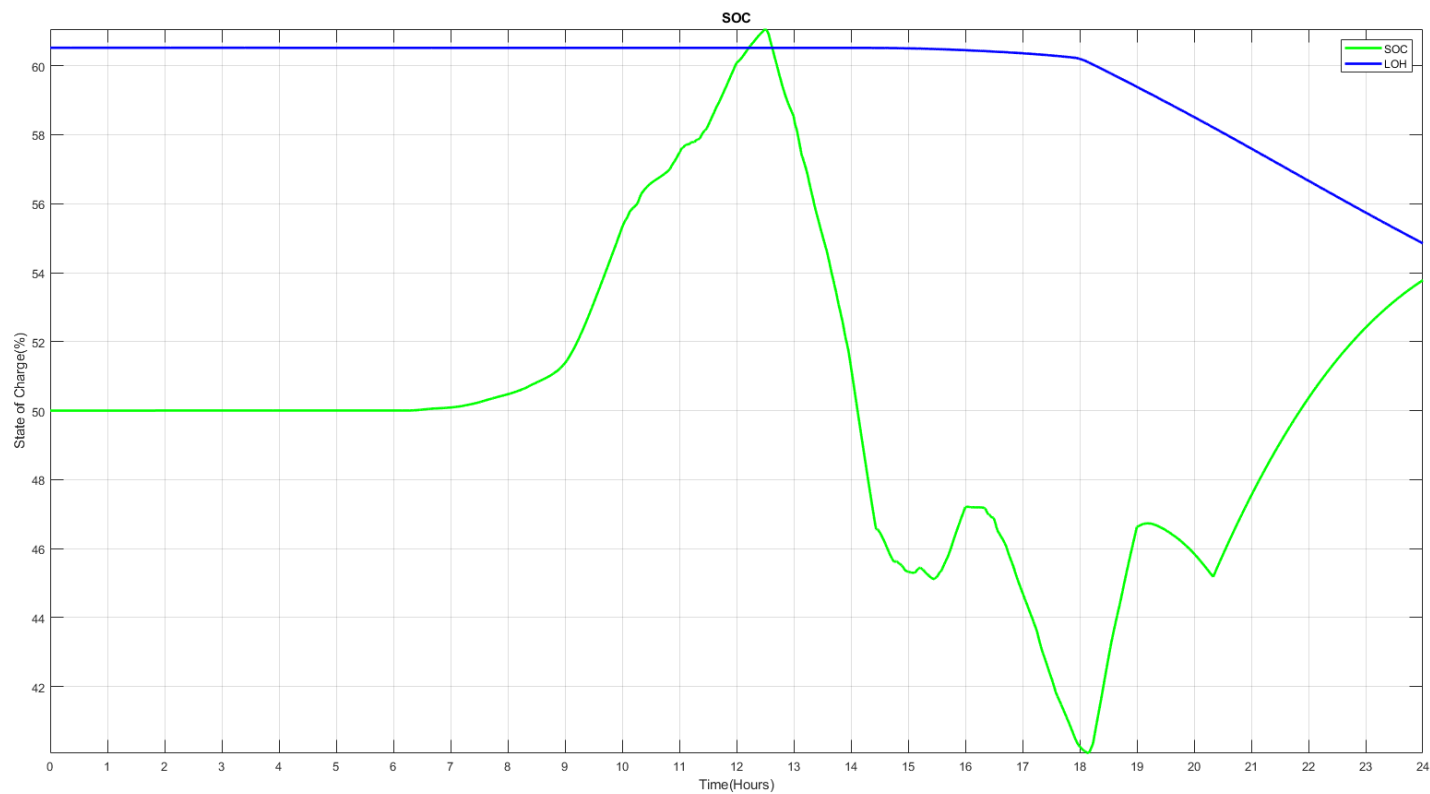
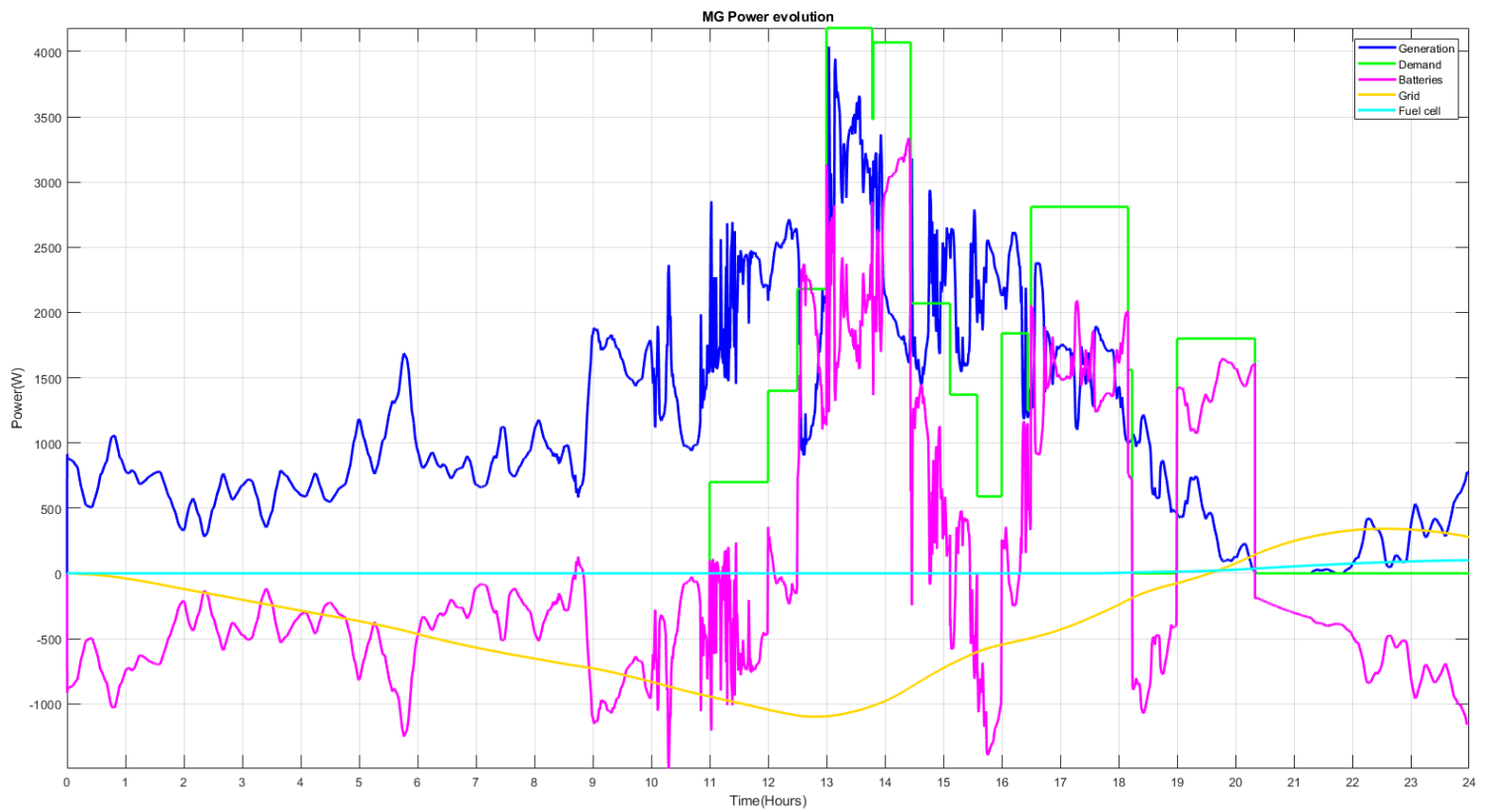
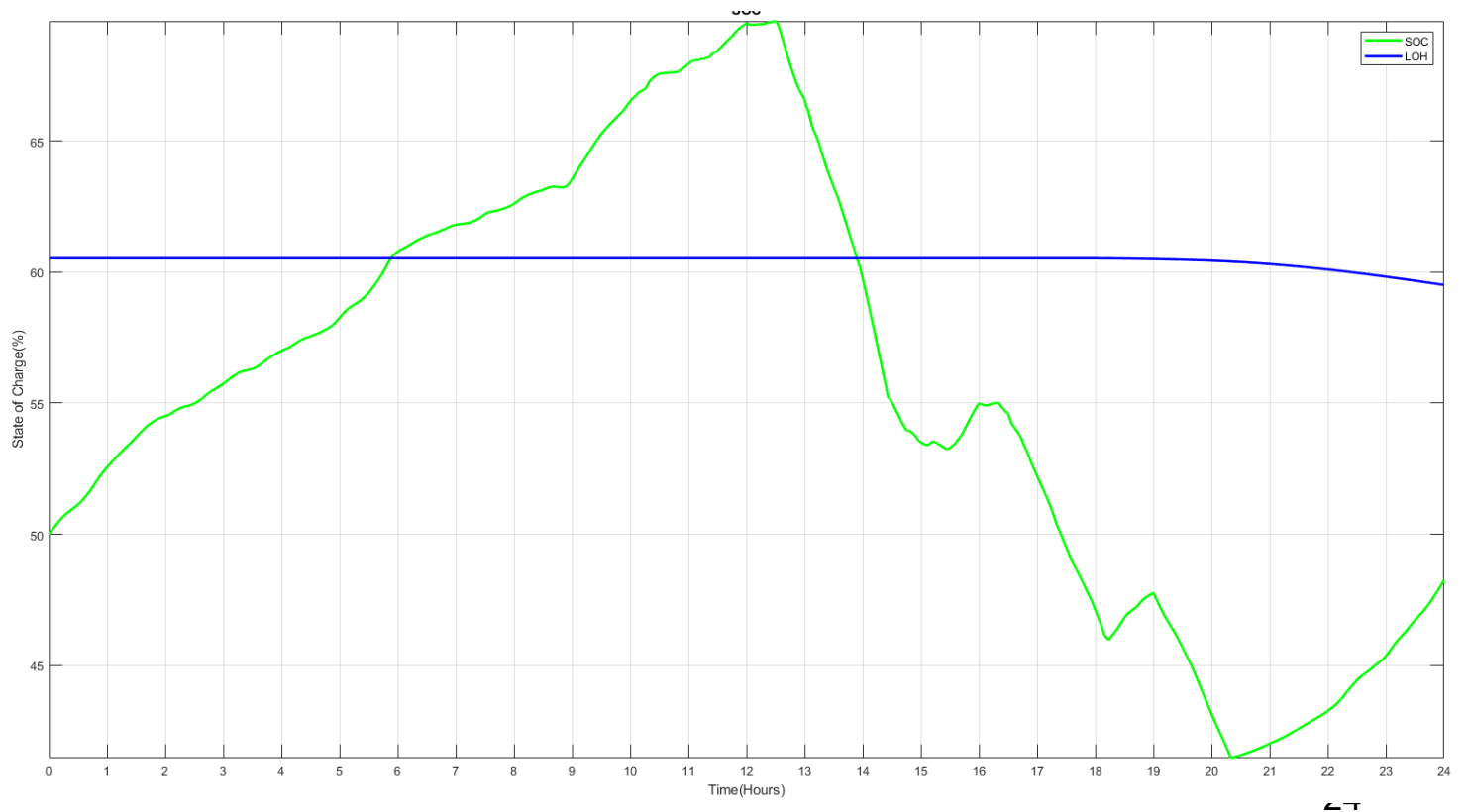


Figura 3-13. Niveles de SOC y LOH de un día nublado y cero generación eólica

### 3.2.2.5. Generación solar de un día nublado con generación eólica



**Figura 3-14.** Balances de potencias de un día nublado y con viento



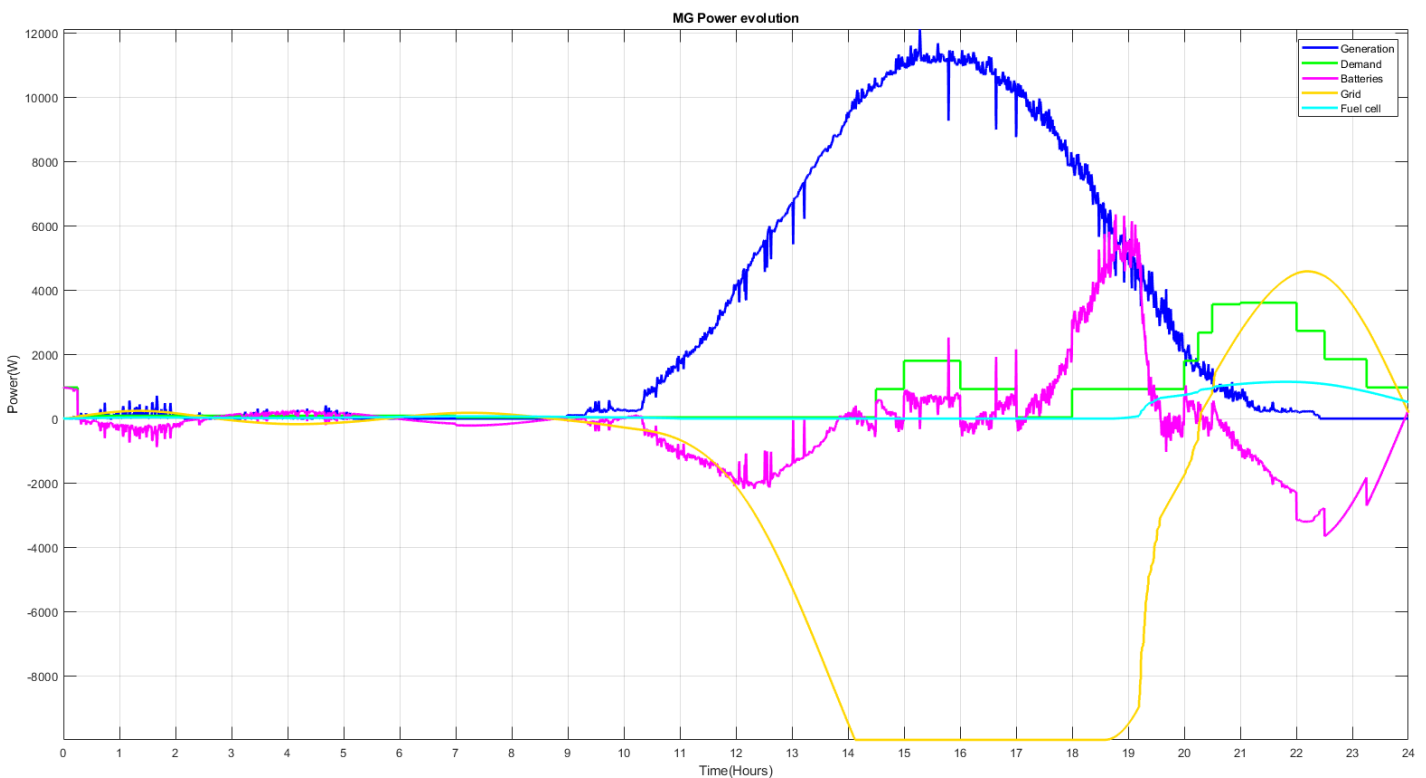
**Figura 3-15.** Niveles de SOC y LOH de un día nublado y con viento



### 3.2.3. Simulaciones con datos de la microrred de la Rábida, Huelva.

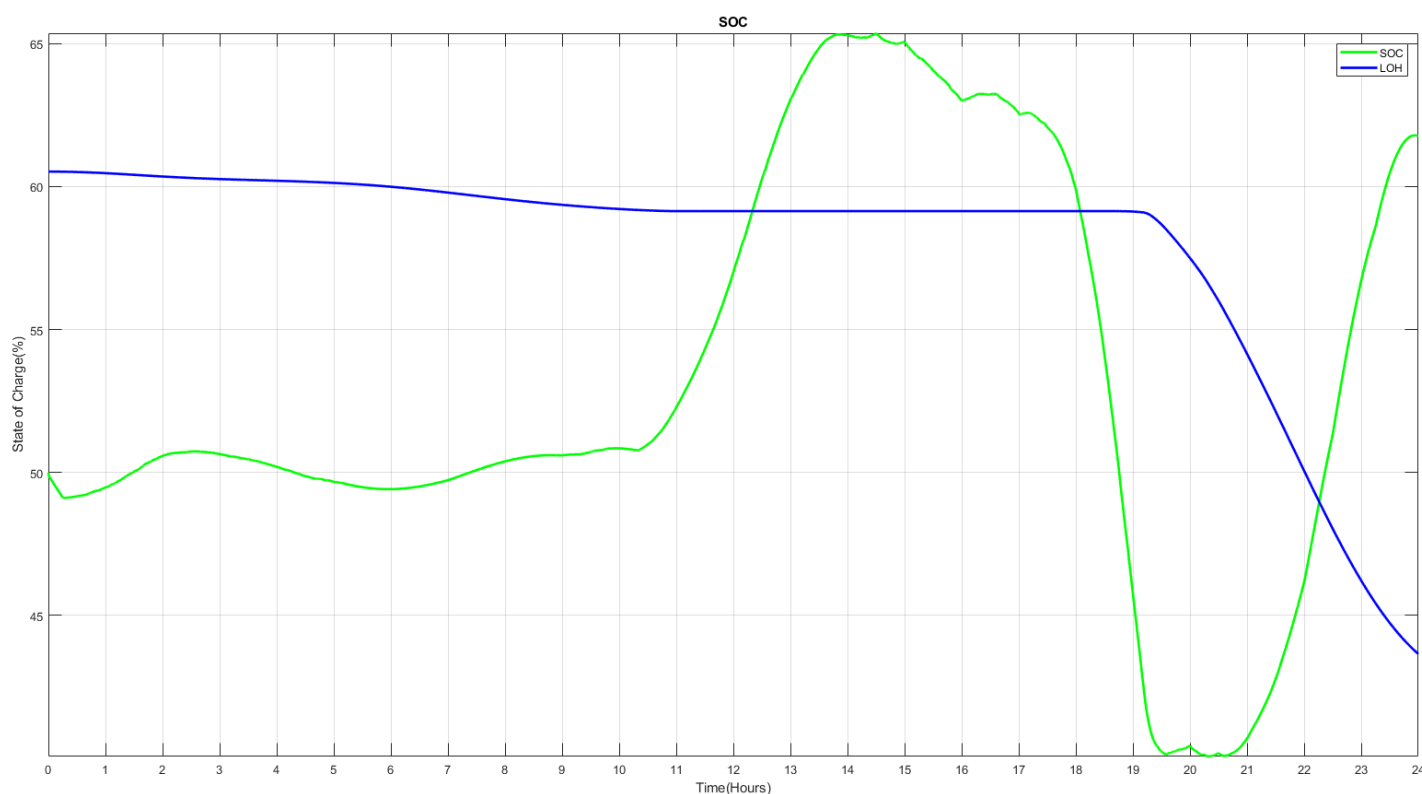
En este caso, el perfil de generación se trata de datos reales del día 22 de julio de 2021. Por otra parte, para la curva de demanda se van a tratar dos casos diferentes, el de 3 vehículos y un stack de baterías cargándose y el de 10 vehículos y 2 stacks de baterías (lo que supone una mayor demanda).

La primera simulación realizada es la que corresponde a una demanda de 3 vehículos y un stack de baterías cargándose. Se puede observar que, en el momento de mayor generación de energía, ésta es volcada a la red (línea amarilla en negativo). La demanda en las horas de máxima generación es relativamente baja en proporción a la potencia generada. A medida que la generación disminuye, la potencia es obtenida de la pila de hidrógeno y de la red (que a su vez se encarga de cargar las baterías previamente descargadas)



**Figura 3-16.** Balance de potencias para un día con 3 vehículos y un stack de baterías

Respecto a los niveles de carga de las baterías y del hidrógeno, el objetivo es mantenerlos, tanto dentro de los límites que establecen los fabricantes para no dañar los dispositivos, como en unos niveles aceptables y que no se descarguen por completo. En el caso del hidrógeno, al no disponer en este caso de un método de generación de hidrógeno, todo lo que hay es consumo.



**Figura 3-17.** Níveis de carga de baterías e hidrógeno para um dia com 3 veículos y un stack de baterías

El segundo caso simulado es el que corresponde a la demanda de 10 vehículos y 2 stacks de baterías. Los resultados obtenidos son muy similares al caso de 3 vehículos, utilizándose las baterías para cargar los vehículos en las horas de máxima generación, volcando el exceso de energía a la red. Al igual que en el caso anterior, en el momento que desciende la generación, los vehículos se cargan con energía procedente de la pila de hidrógeno y de la red.

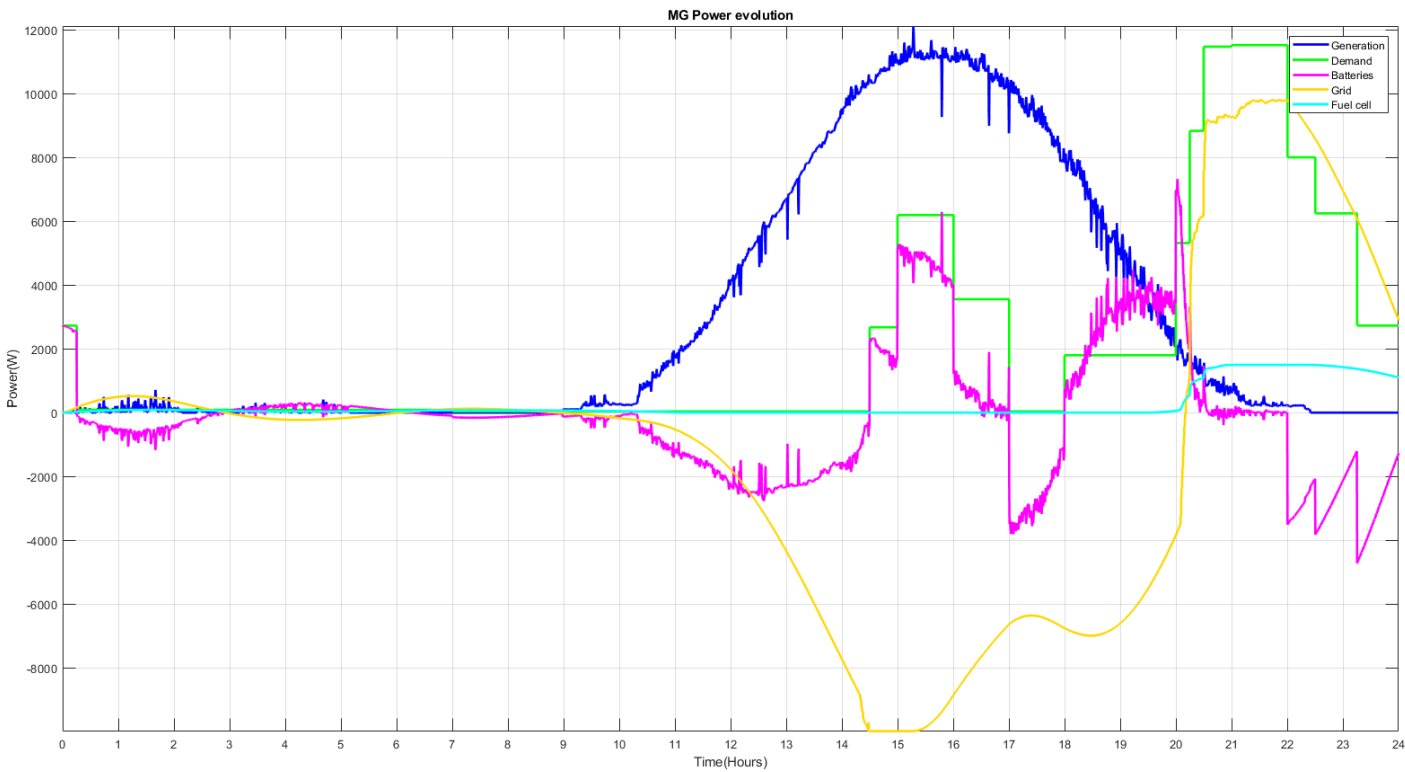


Figura 3-18. Balance de potencias para un día con 10 vehículos y 2 stacks de baterías

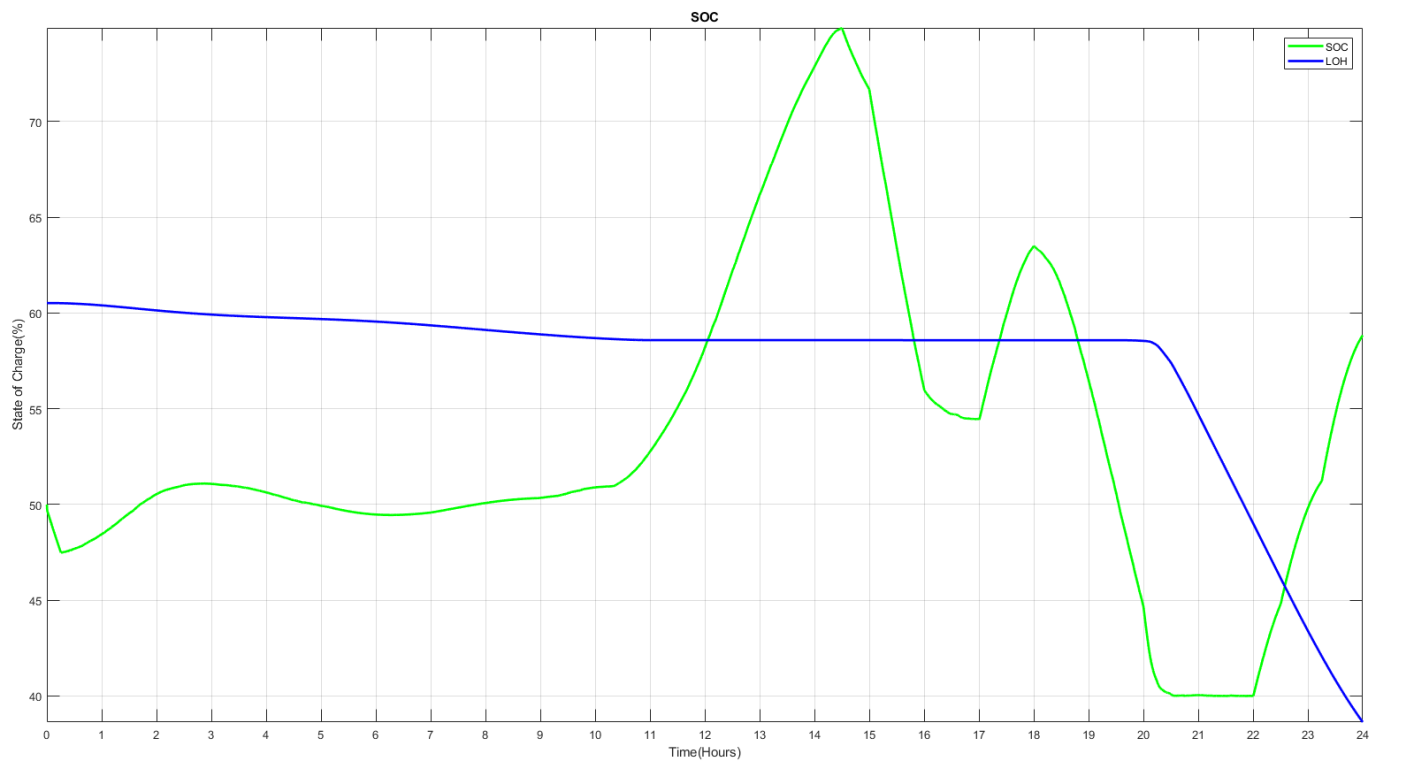


Figura 3-19. Niveles de carga de baterías e hidrógeno para un día con 10 vehículos y 2 stacks de baterías

### 3.3. Implementación. Comunicación Matlab-Labview

#### 3.3.1. Introducción.

Este documento tiene como objetivo servir de manual de uso y guía de comunicación a través de un servidor local OPC UA (TCP) entre los programas Simulink (Matlab) y LabView.

El servidor OPC se encarga de recoger las variables definidas y poner en comunicación a los diferentes clientes OPC que se conecten a él para que puedan compartir la lectura y escritura simultánea de esas variables. En nuestro caso dispondremos de un servidor OPC de *Prosys*, un cliente OPC en *Matlab* (concretamente será una S-Function dentro de Simulink) y otro cliente OPC en *LabView*. El objetivo final es que Matlab y LabView intercambien datos en tiempo real.

#### 3.3.2. Software necesario.

##### 3.3.2.1. Servidor OPC

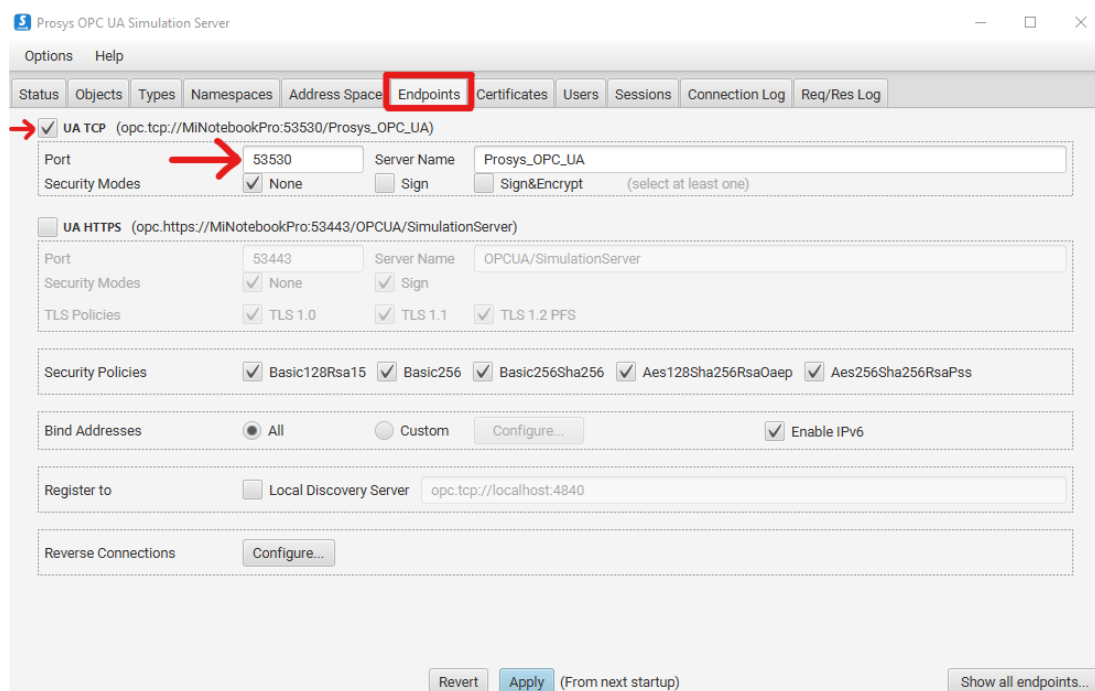
Como ya se ha comentado anteriormente, el servidor que se va a usar en este caso va a ser un servidor de simulación de Prosys. En **este enlace** se puede acceder a la descarga de este. Para ello, hay que introducir una serie de datos, así como usar un correo electrónico corporativo o universitario.

Una vez descargado el archivo solamente hay que seguir los pasos de la instalación y el servidor estará listo. Al abrir el servidor nos encontramos una ventana como la siguiente:



Pulsamos sobre la pestaña *Endpoints* para configurar el nombre y puerto del servidor.

Por defecto el puerto se establece en el 53530. El nombre del servidor puede ser cualquiera. Para el caso que se trata en este manual, no es necesario activar la casilla de UA HTTPS. Le damos a aplicar cambios y cerramos y abrimos el servidor para que surtan efecto.



Si volvemos a la pestaña *Status*, podemos copiar la dirección TCP del servidor (usaremos más tarde esa dirección para los clientes OPC) pulsando sobre el icono que aparece a la derecha de la misma.



### *3.3.2.2. Matlab-Simulink Cliente OPC*

Si el Matlab que se use es de 64bits, es recomendable introducir la siguiente línea de comando en la ventana principal de Matlab:

```
>> opcregister('-silent')
```

### *3.3.2.3. LabView Cliente OPC*

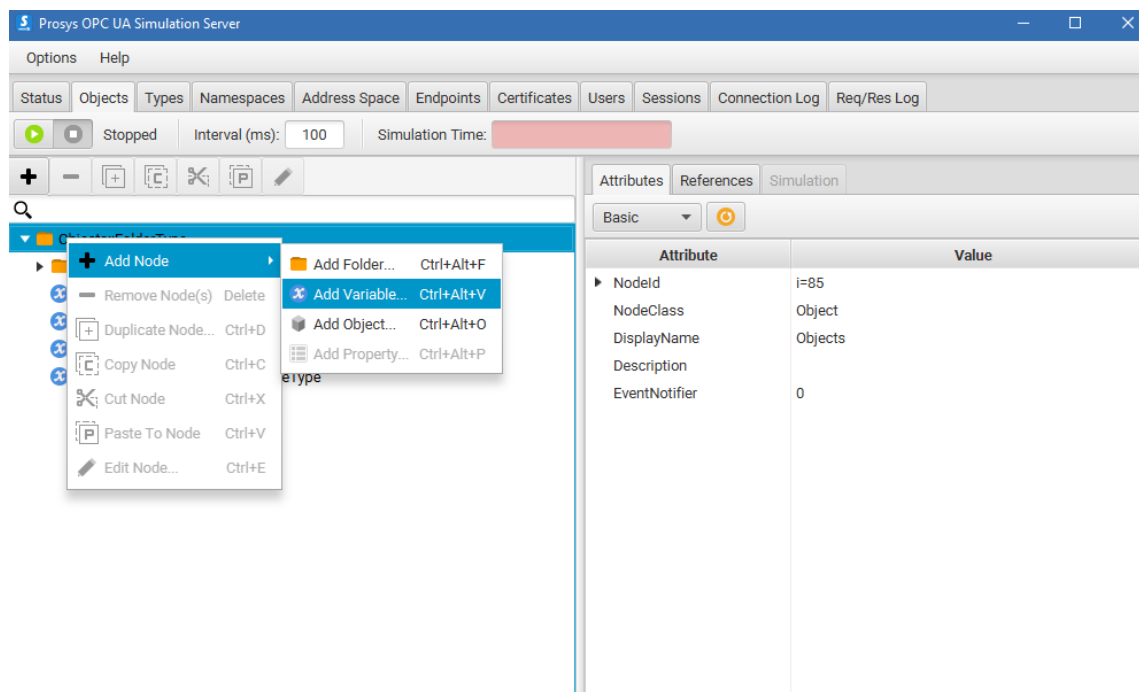
En el caso de LabView, para poder usar un cliente OPC de tipo UA (Unified Architecture), hay que instalar **este** toolkit adicional.

## **3.3.3. Configuración del servidor y creación de los clientes**

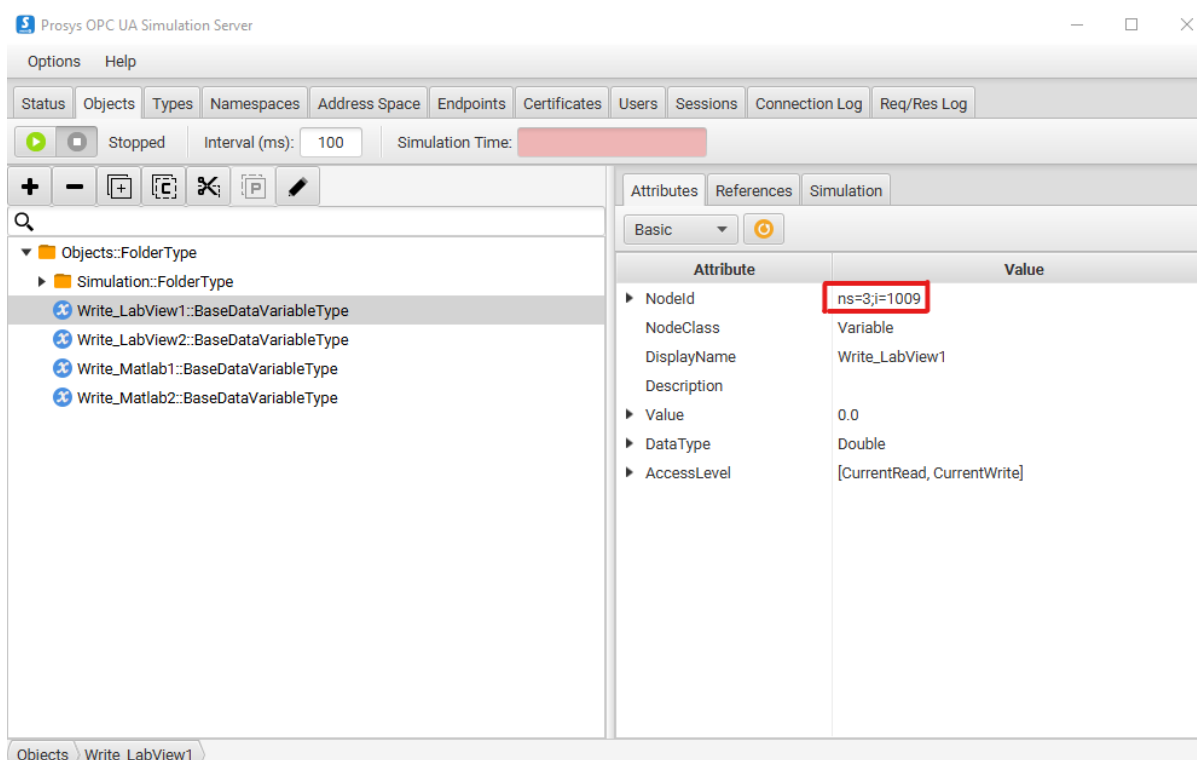
### *3.3.3.1. Incluir variables en el servidor OPC UA Prosys*

Para crear variables en el servidor, las cuales serán posteriormente usadas por los clientes, debemos irnos a la pestaña *Objects*, le damos clic al botón derecho en la

carpeta *Objects>Add Node>Add Variable*. Nos saldrá una ventana donde introduciremos el nombre de la variable deseada y el tipo. Por defecto se puede dejar el tipo de la variable en *BaseDataVariableType*.



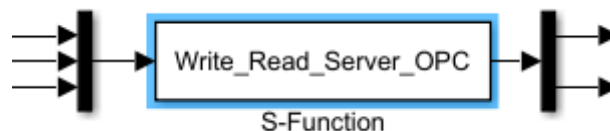
Una vez añadida la variable, nos aparecerá en la parte derecha. En la pestaña *Attributes* podremos ver el *NodeId* asignado a dicha variable. Dicho identificador será usado posteriormente para que los clientes accedan a la variable.



El formato del identificador de variable (Nodeld) es del tipo *ns=<namespace index>;<identifier type>=<identifier>*. En el caso de la variable mostrada como ejemplo en la imagen superior, el *namespace index* tiene valor “3”, el *identifier type* es la letra “i” y el *identifier* tiene valor “1009”.

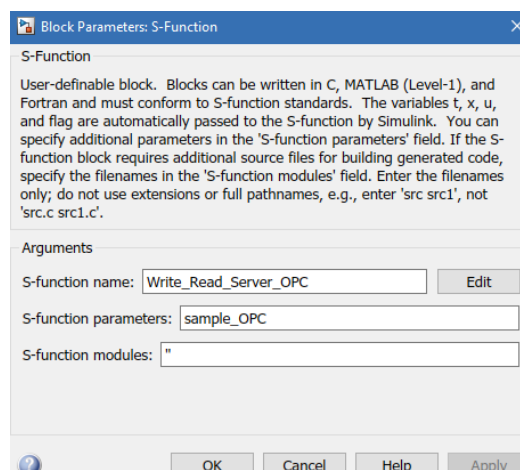
### 3.3.4. Cliente OPC en Matlab-Simulink

En este caso concreto, queremos escribir variables que se encuentran en una simulación de Simulink. Por tanto, vamos a crear un bloque S-Function donde escribiremos el script con todo el código necesario.



En este ejemplo tendremos 3 variables de entrada que serán escritas en el OPC y 2 variables de salida que serán leídas del OPC.

Haciendo doble clic sobre el bloque S-Function introducimos los parámetros que vamos a necesitar.





En este caso, la función se llama *Write\_OPC*. Es muy importante comprobar que tanto la función dentro del script como en el campo de *S-Function name* de Simulink del bloque S-Function, tengan el mismo nombre. En el campo de *S-Function parameters* introduciremos un único parámetro, el tiempo de muestreo (en segundos) con el que se leerá y escribirá en el servidor OPC.

El código completo del script está incluido en el ANEXO C.

Para añadir variables de lectura o escritura, únicamente hay que introducir los valores deseados en los bloques *mux* y *demux* de la entrada y salida del bloque S-Function respectivamente. Seguidamente abrimos el script de la S-Function y nos dirigimos a la función *mdlInitializeSizes* en las líneas 20 y 21. Ahí deberemos introducir cuantas variables de entrada y de salida tiene nuestro cliente OPC.

```

16 function [sys,x0,str,ts,simStateCompliance]=mdlInitializeSizes(sample_OPC)
17 -     sizes = simsizes;
18 -     sizes.NumContStates = 0;           % Numero de estados continuos
19 -     sizes.NumDiscStates = 0;          % Numero de estados discretos
20 -     sizes.NumOutputs = 2;             % Numero de variables de salida
21 -     sizes.NumInputs = 3;              % Numero de variables de entrada
22 -     sizes.DirFeedthrough = 1;         % Permite utilizar las entradas 'u' par
23 -     sizes.NumSampleTimes = 1;         % at least one sample time is needed

```

Seguidamente, en la función *mdlOutputs* añadimos tantas variables de entradas como hubiera.

```

39 -     In1 = u(1); % Input 1
40 -     In2 = u(2); % Input 2
41 -     In3 = u(3); % Input 3
42 -     % Add as many variables as there are inputs
43 -     % *****
44 -     persistent init_Server;
45 -     persistent init_Nodes;
46 -     persistent uaClient;
47 -
48 -     % Persistent INPUTS
49 -     persistent Node_Input_Var_1;
50 -     persistent Node_Input_Var_2;
51 -     persistent Node_Input_Var_3;
52 -     % Add as many variables as there are inputs
53 -     % *****
54 -
55 -     % Persistent OUTPUTS
56 -     persistent Node_Output_Var_1;
57 -     persistent Node_Output_Var_2;
58 -     % Add as many variables as there are outputs
59 -     % *****

```

Escribimos la dirección y el puerto de nuestro servidor en la línea 68. En este caso, la dirección es *localhost* y el puerto es el 53530. Usando la función *opcuanode()* asignamos una variable del servidor a la variable creada en el cliente. El primer parámetro de dicha función es el *namespace index* mencionado en el apartado 3.1. El segundo parámetro es el *identifier*. Iremos asignando los nombres de los Nodeld a tantas variables tipo *persistent* como vayamos a leer o escribir.

```

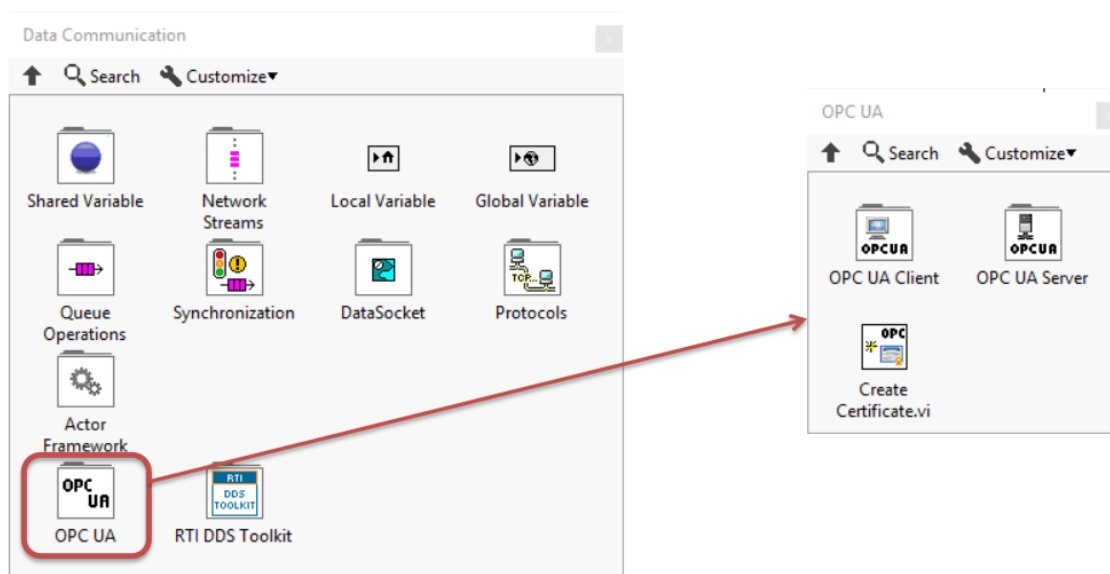
65 % OPC UA server address and connecting client (Simulink) to the server
66 - if init_Server == 0
67 -     init_Server = 1;
68 ● uaClient = opcua('localhost',53530);
69 -     connect(uaClient);
70 - end
71 % define variable nodes in the server
72 - if uaClient.isConnected == 1 && init_Nodes == 0
73 -     init_Nodes = 1;
74 ● Node_Input_Var_1= opcuanode(3,1007,uaClient);
75 ● Node_Input_Var_2= opcuanode(3,1008,uaClient);
76 ● Node_Input_Var_3= opcuanode(3,1011,uaClient);
77 ● Node_Output_Var_1= opcuanode(3,1009,uaClient);
78 ● Node_Output_Var_2= opcuanode(3,1010,uaClient);
79 - end
80 % Read and write variables of the OPC server
81 - if uaClient.isConnected == 1 && init_Nodes == 1
82     % Write S-Function inputs on OPC server
83 ● writeValue(uaClient, Node_Input_Var_1, In1);
84 ● writeValue(uaClient, Node_Input_Var_2, In2);
85 ● writeValue(uaClient, Node_Input_Var_3, In3);
86     % Read S-Function outputs from OPC server
87 ● [out1, ~, ~] = readValue(uaClient, Node_Output_Var_1);
88 ● [out2, ~, ~] = readValue(uaClient, Node_Output_Var_2);
89 - end

```

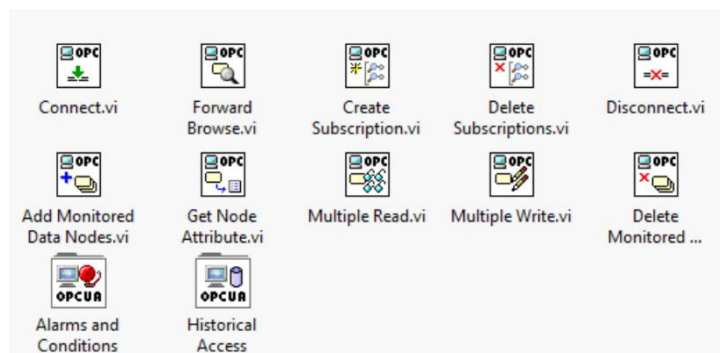
Por último, con las funciones *writeValue()* y *readValue()* escribimos o leemos los valores correspondientes asignados a las variables de escritura  $In_1, In_2, \dots, In_n$  o de lectura  $Out_1, Out_2, \dots, Out_n$ .

### 3.3.5. Cliente OPC en LabView

Para crear el cliente OPC en LabView hay que hacer uso del toolkit instalado anteriormente para OPC UA.



Dentro del bloque “OPC UA Client” encontraremos todo lo necesario para realizar nuestro cliente OPC.

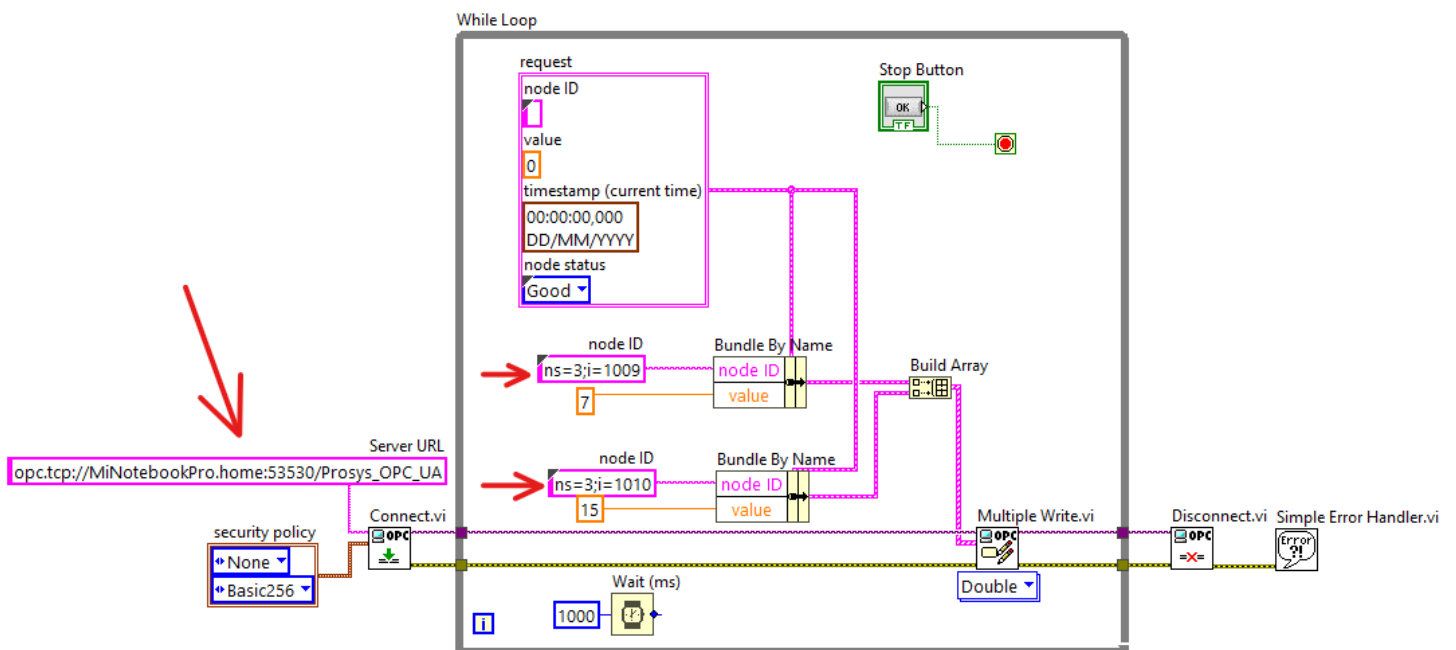


Tanto la escritura como la lectura se basarán en meter los bloques necesarios dentro de un bucle *while*. Aunque en este manual lo vamos a mostrar en clientes separados, se pueden hacer todas dentro del mismo bucle aprovechando así la conexión de un único cliente que lee y escribe a la vez.

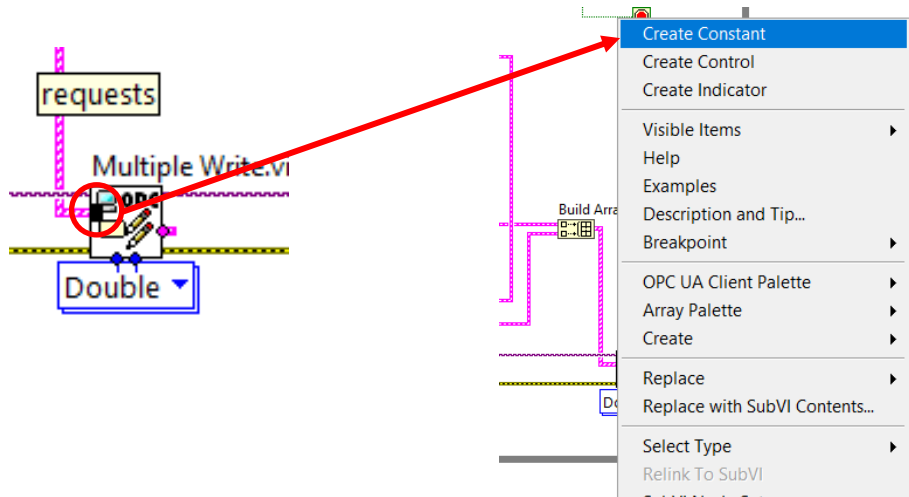
### 3.3.5.1. Cliente OPC de escritura

En el ejemplo que se muestra a continuación se va a escribir el valor de dos variables, una con *NodeID* *ns=3;i=1009* y otra con *ns=3;i=1010*. Esos identificadores coinciden con los identificadores de lectura de las variables de Matlab. En este caso las variables escritas son constantes y de valores “7” y “15” de tipo *double*.

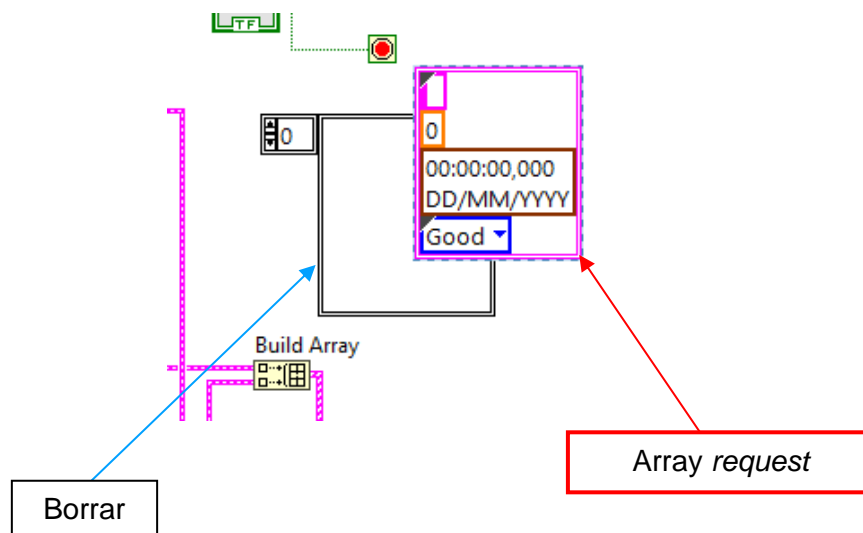
La URL del servidor la pegamos haciendo clic en el botón de copiar que dijimos de la pantalla inicial *Status* del servidor Prosys.



Para crear el array “request” que contiene el formato de cada nodo hacemos clic derecho en la entrada “request” del bloque “Multiple Write.vi” y le damos a crear constante.

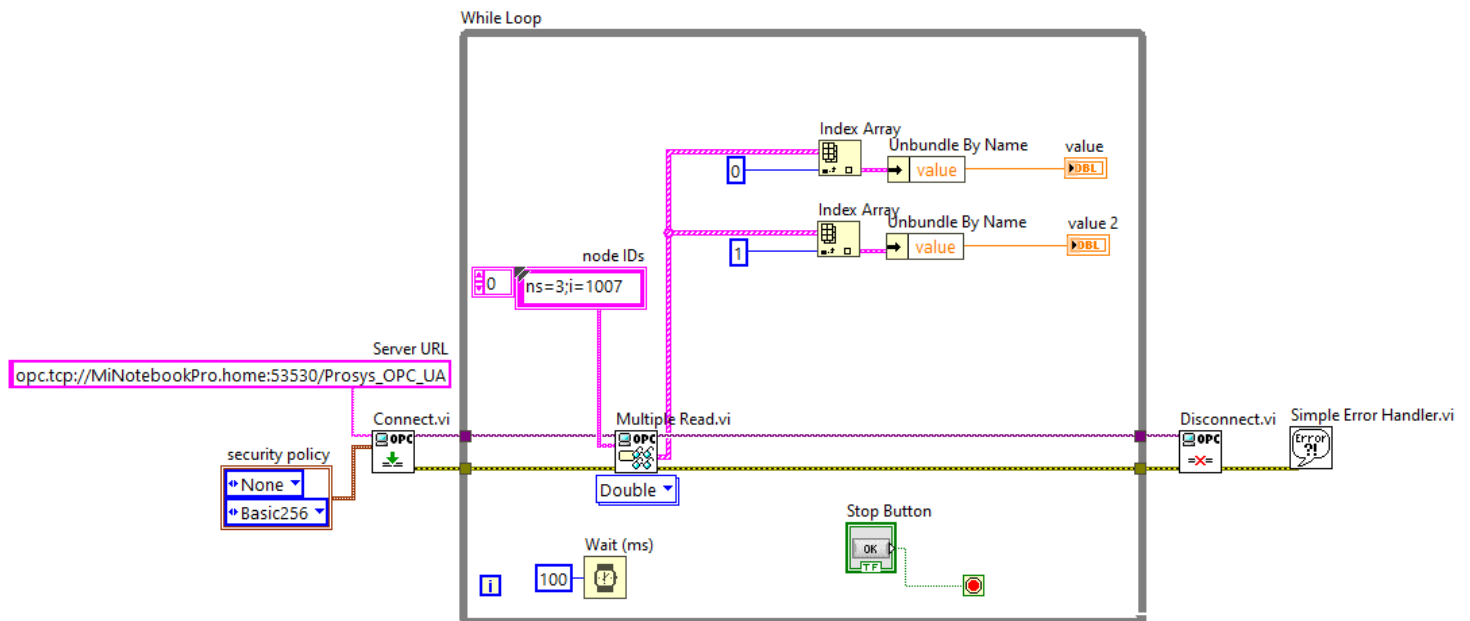


Nos aparecerá entonces un conjunto de arrays con el formato deseado en el interior. Sacamos dicho array de *cluster* y lo dejamos fuera para usarlo. El *cluster* vacío lo borramos.



### 3.3.5.2. Cliente OPC de lectura

En este caso procederemos de forma similar al cliente de escritura, pero usando el bloque *Multiple Read.vi*. Para ello creamos una constante en la entrada *node IDs* de dicho bloque. Ahí introduciremos los identificadores de nodo de las variables que vamos a leer (que Matlab va a escribir). A cada identificador se le asigna un índice que se usa posteriormente en el bloque *Index Array* para obtener el valor concreto de cada variable



## 4. Intercambio de Energia entre Posto de Carregamento e Veículo Elétrico

---

Neste capítulo analisam-se os elementos envolvidos no processo carregamento inteligente de veículos elétricos, incluindo a gestão de energia no posto de carregamento em função das energias renováveis, assim como o intercambio de energia entre posto de carregamento e Veículo Elétricos. Na secção 4.1 começa-se por definir um modelo de uma estação de carregamento de Veículos Elétricos, que servirá de base ao simulador implementado posteriormente. Em seguida, na secção 4.2 descreve-se o Sistema de Comunicação entre veículo elétrico e o equipamento de carregamento que permite a modulação da potência de carregamento ao longo do tempo, quer em DC como em AC. Especial ênfase é dada à descrição do trabalho feito no âmbito do protocolo de comunicação da norma ISO 15118. Na secção 4.3 apresenta-se a estrutura do Simulador implementado sobre o qual se podem testar diferentes mecanismos de Gestão Energética de Carregamentos para Frotas de Veículos Elétricos em Contextos Turísticos. Por fim considera-se um cenário turístico e apresentam-se os resultados de algoritmos de otimização, utilizando algoritmos genéticos multiobjectivo, apresentando-se os resultados obtidos.

### 4.1. Arquitetura e Critérios de Fluxo

Em seguida será apresentada a arquitetura de estação de carga (e das suas variantes). O esquema proposto (apresentado na Figura 4-1), tem como objetivo servir de base a uma estação que permita o carregamento de veículos elétricos (nas vertentes AC e DC) utilizando energia de geração solar fotovoltaica.

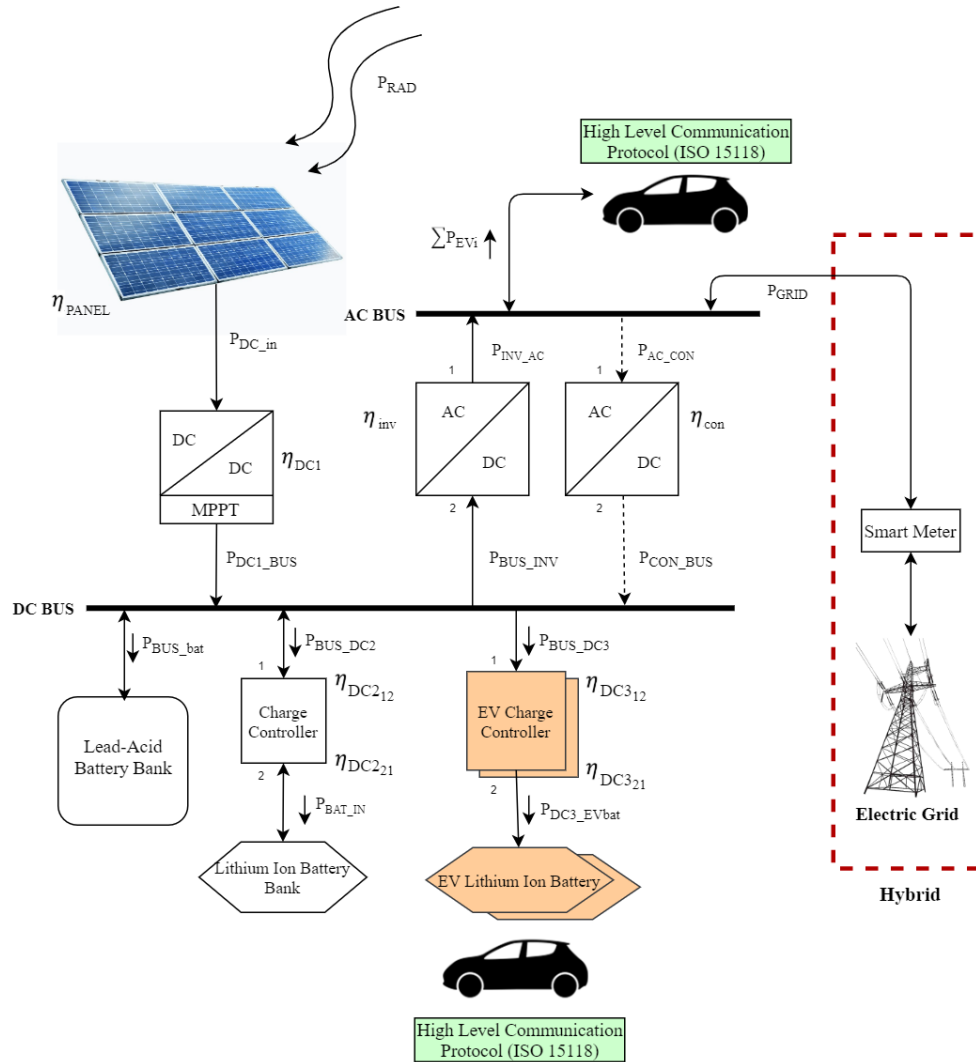
O sistema pode funcionar em modo autónomo ou em modo Híbrido, i.e. com ligação à rede de distribuição. Na Tabela 4.1 encontram-se descritas as variáveis que caracterizam o sistema, tal como apresentadas no esquema da Figura 4-1.

Tabela 4.1-**Variáveis** utilizadas

| Potências        | Significado  |
|------------------|--|
| $P_{RAD}$        | Potência irradiada pelo sol                        |
| $P_{DC3\_EVbat}$ | Potência de entrada Baterias VE                    |
| $P_{DC\_in}$     | Potência de saída Painel Fotovoltaico              |
| $P_{BUS\_INV}$   | Potência de entrada Inversor                       |
| $P_{DC1\_BUS}$   | Potência de saída Conversor DC1                    |
| $P_{BUS\_DC2}$   | Potência de entrada Conversor DC2                  |
| $P_{INV\_AC}$    | Potência de saída Inversor                         |
| $P_{BAT\_IN}$    | Potência de entrada Banco de Baterias              |
| $P_{BUS\_DC3}$   | Potência de entrada Conversor DC3                  |
| $P_{AC\_CON}$    | Potência de entrada Conversor AC                   |
| $P_{CON\_BUS}$   | Potência de saída Conversor AC                     |
| $P_{GRID}$       | Potência de entrada Rede                           |
| $P_{EV}$         | Potência de entrada VE                             |
| $P_{BUS\_bat}$   | Potência de entrada Banco de Baterias Chumbo Ácido |

| Parâmetros Sistema | Significado                    |
|--------------------|--------------------------------|
| $\eta_{PANEL}$     | Eficiência Painel Fotovoltaico |
| $\eta_{DC1}$       | Eficiência Conversor DC1       |
| $\eta_{inv}$       | Eficiência Inversor            |
| $\eta_{DC2}$       | Eficiência Conversor DC2       |
| $\eta_{DC3}$       | Eficiência Conversor DC3       |
| $\eta_{con}$       | Eficiência Conversor           |





**Figura 4-1-**Arquitetura do Sistema Interno de uma estação de carregamento de Veículos Elétricos

### 4.1.1. Fluxos de Potência

Na arquitetura proposta na Figura 4-1, existem vários fluxos de potência. Em seguida serão explicitadas as relações existentes entre esses fluxos e com os elementos existentes.

#### 4.1.1.1. Barramento DC

No barramento DC (BUS DC) a potência que entra no sistema proveniente de geração solar, resulta da conversão da potência irradiada proveniente sol, em potência elétrica. Após passagem pelo conversor DC1, a potência injetada no barramento DC obtém-se através de:

$$P_{DC1BUS} = P_{DCin} \cdot \eta_{DC1} \quad (4.1)$$

No barramento DC, tem-se:

$$P_{DC1BUS} + P_{CONBUS} = P_{BUSDC2} + P_{BUSbat} + P_{BUSDC3} + P_{BUSINV} \quad (4.2)$$

O bloco de baterias de Chumbo-Ácido tem como propósito manter estável a tensão do barramento. Este banco de baterias tem associada uma capacidade máxima (expressa em kWh ou Ah) bem como uma potência de carga/descarga máxima. A tensão à entrada do banco de baterias  $V_{bat}$ , que é coincidente com a tensão do barramento DC, é dada por [1]:

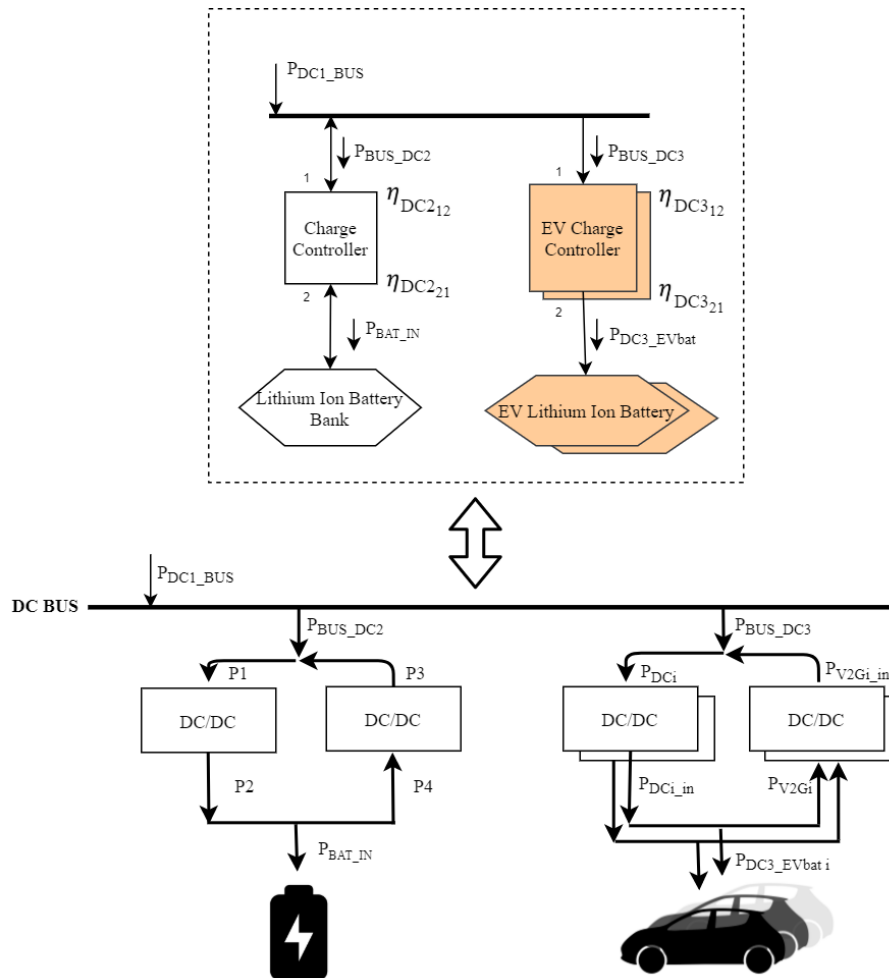
$$V_{bat} = V_{btint} - I_{bt} \cdot R_i \quad (4.3)$$

onde  $I_{bt}$  traduz a corrente de saída na bateria e  $R_i$  a resistência interna da bateria. A potência  $P_{BUSbat}$  foi definida como positiva no processo carregamento e negativa no caso de descarga, assim relaciona-se com  $I_{bt}$  através da expressão:

$$P_{BUSbat} = -I_{bt} \cdot V_{bat} \quad (4.4)$$

Na secção 4.1.2 apresenta-se com mais detalhe o modelo da bateria de Chumbo-Ácido permitindo calcular o valor de  $V_{btint}$ .

Na Figura 4-2 são apresentados os fluxos de potências com maior detalhe, no que diz respeito aos sistemas de carga e descarga de baterias de lões de Lítio.



**Figura 4-2-**Fluxos de Potência no barramento DC: parte superior, blocos arquitetura, parte inferior, representação trocas bidirecionais

À semelhança do armazenamento interno da estação, no carregamento DC de cada bateria de lões de Lítio, só é possível carregar ou descarregar. Assim, os fluxos de potência  $P_1$  e  $P_3$  são mutuamente exclusivos. O mesmo acontece entre  $P_2$  e  $P_4$ , e entre  $P_{DCi}$  e  $P_{V2Gi\_in}$ . etc.

Para além destas restrições, o sistema deve ter em consideração os limites de capacidade das baterias que não podem ser excedidos.

Dadas as restrições de fluxos de potência, cabe ao algoritmo de gestão decidir quais os equipamentos estão ativos em cada momento. Por exemplo se: **(1) VEs com carga máxima atingida**- A potência de geração é reencaminhado na sua totalidade para armazenamento interno da estação; **(2) Armazenamento interno com carga máxima**- Fluxo de geração é reencaminhado na sua totalidade para os VEs que estejam conectados ao sistema; **(3) Armazenamento interno e VEs com carga máxima**- Tendo sido atingido o máximo em ambos os blocos de receção de potência, e não havendo ligação à rede de distribuição, torna-se indispensável o deslastre do controlador MPPT de forma a anular a potência proveniente da geração.

Cabe também ao algoritmo de gestão decidir os valores das potências  $P_{DC1\_BUS}$  e  $P_{BUS\_DC3}$  (que serão resultado da decisão feita por exemplo através de algoritmos genéticos).

Em relação às potências nos nós da bateria de Iões de Lítio da estação temos que:

$$\begin{cases} P_{BUS_{DC2}} + P_3 = P_1 \\ P_2 = P_1 \cdot \eta_{DC2_{12}} \\ P_2 = P_4 + P_{BAT_{IN}} \\ P_3 = P_4 \cdot \eta_{DC2_{21}} \end{cases} \quad (4.5)$$

onde  $P_{BUS_{DC2}}$  representa a potência (de entrada, se positiva) do armazenamento interno em baterias de Iões de Lítio.

Em relação aos módulos de carregamento de VE, temos:

$$P_{BUS_{DC3}} = \sum_i P_{DCi} - \sum_i P_{V2G \ i_{in}} \quad (4.6)$$

onde  $P_{BUS_{DC3}}$  representa a potência DC (entrada ou saída) de todos os VE,  $P_{DCi}$  representa a potência à entrada do conversor de carga DC e  $P_{V2G \ i_{in}}$  representa a potência DC proveniente cada um dos “i” veículos elétricos acoplados ao sistema.

Adicionalmente para cada VE “i” temos:

$$\begin{cases} P_{V2G\ i_{in}} = P_{V2Gi} \cdot \eta_{DC3_{21}} \\ P_{DC\ i_{in}} = P_{DCi} \cdot \eta_{DC3_{12}} \\ P_{DC\ i_{in}} = P_{DC3_{EVbat}i} + P_{V2Gi} \end{cases} \quad (4.7)$$

#### 4.1.1.2. Barramento AC

No barramento AC (BUS AC) (na Figura 4-3) existem vários fluxos de potência que se relacionam entre si. Em seguida serão apresentadas estas relações.

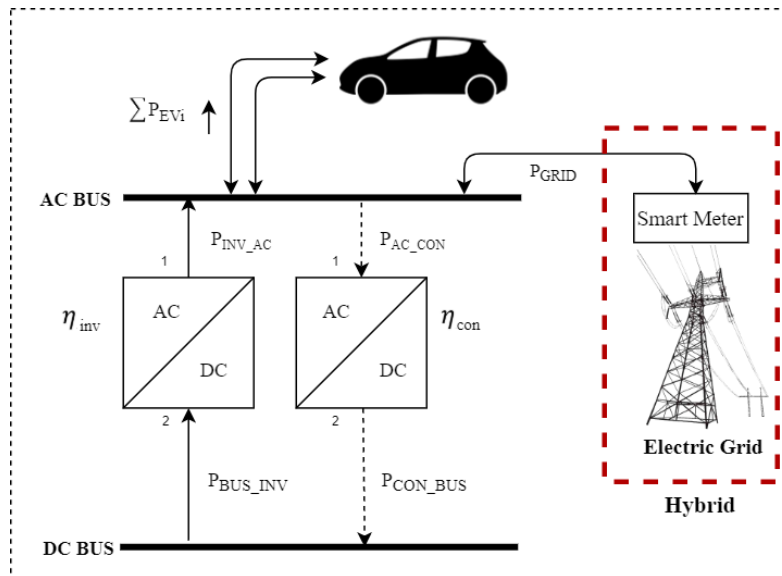
O Inversor DC/AC, como o nome indica, permite ao sistema a passagem de fluxo entre barramentos DC e AC, quer para as estações de carga AC, que vão permitir o carregamento de VE, quer para a injeção na rede de distribuição, permitindo a venda da energia gerada e a não ser utilizada. Tendo em conta o esquema na Figura 4-1 tem-se então:

$$P_{INV\_AC} = P_{BUS\_INV} * \eta_{inv} \quad (4.8)$$

A potência  $P_{EV}$  representa a potência que tem como destino as estações de carregamento AC. No barramento temos então:

$$P_{GRID} + P_{INV\_AC} = P_{AC\_CON} + \sum_{i=1}^{n^{o}EVs} P_{EV\ i} \quad (4.9)$$

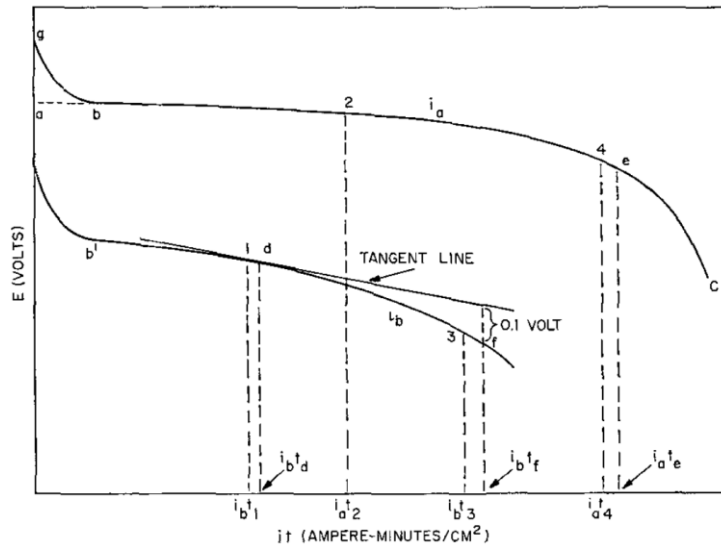
A potência da rede ( $P_{GRID}$ ), como o nome indica, corresponde à potência AC oriunda da rede de distribuição.  $P_{INV\_AC}$  representa a potência recebida do inversor,  $P_{AC\_CON}$  a potência injetada no conversor AC/DC, e  $P_{EV\ i}$  representa a potência utilizada para a carga de cada VE. No caso de não haver ligação à rede de distribuição  $P_{GRID} = 0$ .



**Figura 4-3-**Sistema com adição dos fluxos de Potência no barramento AC

### 4.1.2. Modelo da Bateria

O modelo utilizado no dimensionamento de uma estação de carga de VE parte de um modelo de baterias de Chumbo-ácido, em que é usada uma resistência interna  $R_i$ , em série com uma fonte de tensão controlada, tal como apresentado na expressão (4.3).



**Figura 4-4**-Curvas típicas de descarga de baterias (retirada de [4])

As deduções matemáticas seguintes [2]–[4] permitem deduzir uma expressão geral para a tensão interna da bateria,  $V_{btint}$ . Na análise do modelo tiveram-se em contas seguintes premissas: (A) O ânodo e o cátodo da célula possuem materiais ativos porosos; (B) A resistência do eletrólito é constante durante a descarga; (C) A célula é descarregada por uma corrente constante; (D) A polarização é uma função linear da densidade de corrente do material ativo.

Na Figura 4-4, estão representadas duas típicas curvas de descarga,  $i_a$  e  $i_b$ . O potencial (em Volts) é traçado em função da capacidade que foi extraída da bateria no intervalo de tempo  $t$  ( $it$ ), adiante denotada por  $C_{out}$ .

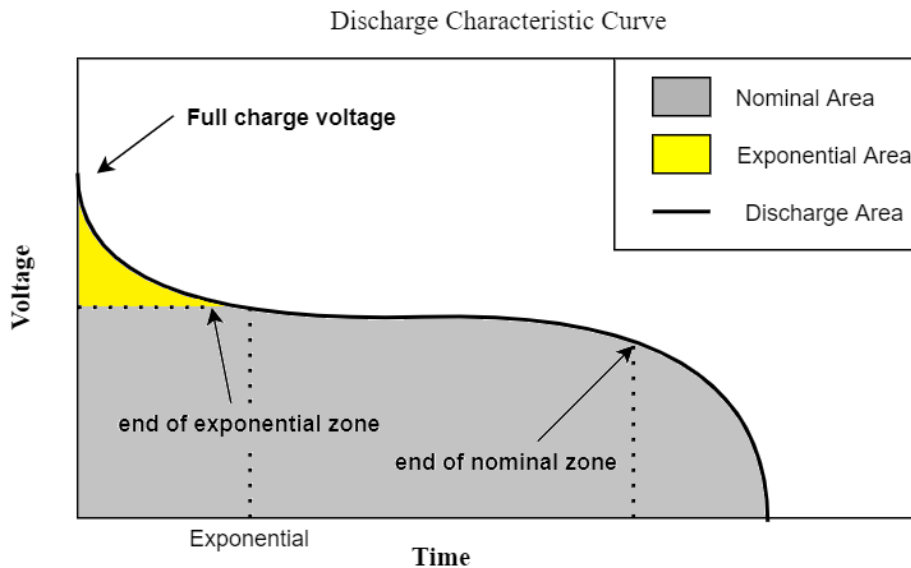
De forma à obtenção das respetivas representações gráficas, são necessários ter em consideração vários parâmetros. A capacidade máxima  $C_{bt}$  e a resistência interna da bateria  $R_i$  podem ser consultadas na tabela de especificações da mesma.

Os restantes parâmetros derivam das características da curva típica de descarga. Esses parâmetros são aproximados e dependem da precisão dos pontos obtidos na curva de descarga. Os parâmetros da bateria utilizados neste modelo estão representados Tabela 4.2. Os três pontos necessários usados para extrair estes parâmetros são: (1) tensão de carga cheia  $V_{Full}$ , (2) tensão e carga do fim da zona

exponencial ( $V_{Exp}$ ,  $Q_{Exp}$ ) , (3) tensão e carga do fim da zona nominal ( $V_{Nom}$ ,  $Q_{Nom}$ ) (quando a tensão começa a descer abruptamente), representados na Figura 4-5.

**Tabela 4.2-** Parâmetros modelo de uma bateria

| Parâmetros | Significado  |
|------------|--|
| $C_{bt}$   | Capacidade máxima (Ah)   |
| $C_{out}$  | Capacidade extraída (Ah)   |
| $V_{bt,0}$ | Tensão constante (V)   |
| $K_{bt}$   | Constante de polarização (V)   |
| $A_{bt}$   | Amplitude de zona exponencial (V)                                    |
| $B_{bt}$   | Inverso da constante de tempo da zona exponencial [Ah] <sup>-1</sup> |
| $R_i$      | Resistência interna ( $\Omega$ )                                     |



**Figura 4-5-**Curva de descarga típica adaptada de [3]

A tensão interna da bateria durante o processo de carga [3] faz-se representar como:

$$V_{btint} = V_{bt,0} - K_{bt} * \frac{C_{bt}}{C_{out} + 0.1 * C_{bt}} * I_{bt} - K_{bt} * \frac{C_{bt}}{C_{bt} - C_{out}} * C_{out} + A_{bt} * e^{(-B_{bt} * C_{out})} \quad (4.10)$$

onde  $I_{bt} < 0$



Já no processo de descarga [3], a tensão interna da bateria é representada por:

$$V_{btint} = V_{bt,0} - K_{bt} * \frac{C_{bt}}{C_{bt} - C_{out}} * I_{bt} - K_{bt} * \frac{C_{bt}}{C_{bt} - C_{out}} * C_{out} + A_{bt} * e^{(-B_{bt} * C_{out})} \quad (4.11)$$

onde  $I_{bt} > 0$

A queda de tensão na zona exponencial ( $A_{bt}$ ) da expressão ( $A_{bt} * e^{-B_{bt} * C_{out}}$ ) é calculada com os dois primeiros pontos:

$$A_{bt} = V_{Full} - V_{Exp} \quad (4.12)$$

onde  $V_{Full}$  traduz a tensão de carga cheia e  $V_{Exp}$  a tensão do fim da zona exponencial.

O inverso da constante de tempo da zona exponencial ( $B_{bt}$ ) [2] é obtida por:

$$B_{bt} = \frac{3}{Q_{Exp}} \quad (4.13)$$

onde  $Q_{Exp}$  representa a capacidade no fim da zona exponencial (em Ah).

A capacidade extraída da bateria  $C_{out}$  [5], define-se como:

$$C_{out} = \int_0^t I_{bt} dt \quad (4.14)$$

Na prática, a aproximação da expressão (4.14) é realizada utilizando como base temporal o minuto e substituindo o integral pelo somatório, obtendo-se:

$$C_{out} = \int_0^t I_{bt} dt \approx \frac{1}{60} * \sum_{t=0}^{tf} I(t) \quad (4.15)$$

## 4.2. Comunicação entre Equipamento de Carga e Veículo Elétrico

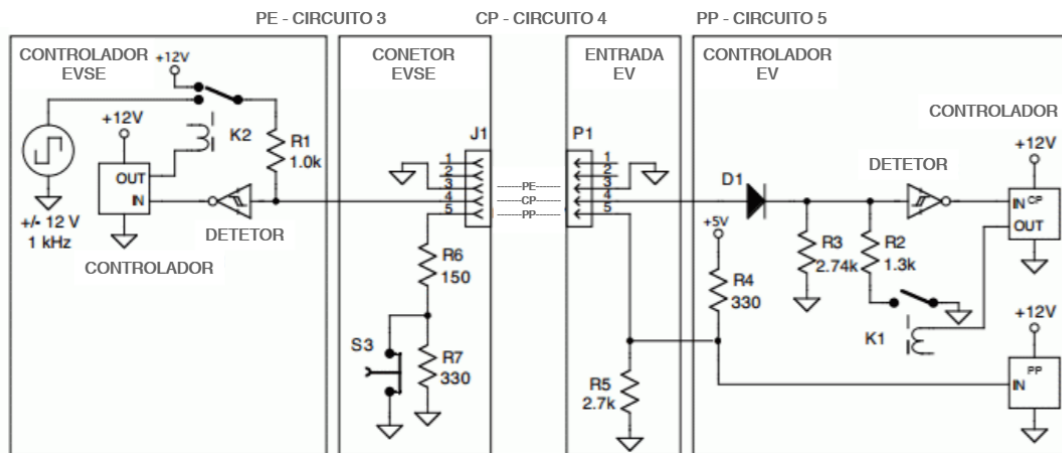
Neste capítulo é realizada a descrição do sistema de comunicação desenvolvido, que permite emular toda a comunicação durante o carregamento entre o equipamento de carga e o veículo elétrico, com recurso a protocolos de comunicação.

### 4.2.1. Protocolo de Sinalização através dos Pinos CP e PP

A norma IEC 61851-1 descreve o protocolo de sinalização dos pinos Control Pilot (CP) e Proximity Pilot (PP). Este protocolo foi originalmente definido na norma americana SAE J1772, e só depois adotado pela norma IEC 61851, e ao contrário dos restantes protocolos de carregamento, não requer circuitos integrados.

Este protocolo de sinalização foi projetado para funcionar da seguinte forma: (1) O EVSE sinaliza a presença de fonte de energia elétrica; (2) O EV deteta o conector através do pino de sinalização PP, isto previne que o EV se mova durante o carregamento; (3) Através do pino de sinalização CP, o EVSE deteta o EV e indica ao mesmo a sua disponibilidade para fornecer energia elétrica; (4) Ainda através do CP, o EVSE determina se o EV necessita de carregamento com ventilação; (5) O EVSE disponibiliza a energia elétrica requisitada pelo EV, ao mesmo; (6) O EV controla o fluxo de energia durante o carregamento; (7) O EV e o EVSE verificam

continuamente a ligação à terra; (8) O carregamento pode ser interrompido ao desligar o conector do EV [6], [7].



**Figura 4-6** - Circuito de Sinalização IEC 61851 [1], [2]

O pino de sinalização PP, representado pelo circuito 5 (pino 5) na Figura 4-6, permite ao EV detetar quando está ligado a um conector. Isto acontece através da deteção, pela parte do EV, de uma resistência passiva representada pelo conector, detetada entre o pino PP e o pino Protective Earth (PE), também denominado de pino terra. O pino PP não liga o EV e EVSE.

Durante o carregamento, o EVSE liga o pino PP ao pino PE através do atuador S3 e da resistência R6 (150  $\Omega$ ). Ao abrir o atuador S3, a resistência R7 (330 $\Omega$ ) é adicionada ao circuito PP-PE, e faz com que haja uma mudança de tensão no mesmo. O EV ao detetar a mudança de tensão no pino PP, que resulta da mudança de resistência, inicia um processo controlado de corte de corrente antes que se dê a desconexão física da ficha. Salienta-se, contudo, que muitos cabos adaptadores de baixa potência não contêm a deteção de estado do atuador no pino PP.

Em suma, um conector com o atuador fechado é representado por uma resistência de 150  $\Omega$ , já um conector com o atuador aberto é representado por 480  $\Omega$  (que resulta de 150  $\Omega$  e 330  $\Omega$ ). A deteção da ligação física ao equipamento de carga, para além de permitir efetuar o corte de energia antes que o conector seja desligado, permite

também que o EV bloqueie deslocamentos enquanto o cabo de carregamento estiver ligado.

Do lado do EVSE, o PP também permite saber quando a tomada está ligada a uma ficha. Mais uma vez, uma resistência passiva, presente na ficha faz a ligação entre o pino PP e o pino PE (não representado na Figura 4-6). Por esta via, o cabo de carregamento permite que o EVSE determine o valor máximo da corrente que suporta, através da resistência entre os esses pinos (Tabela 4.3). Por sua vez, o EVSE comunica ao EV a corrente máxima suportada pelo conjunto equipamento de carga mais cabo de carregamento através do pino CP [6], [7].

**Tabela 4.3** - Resistência PP-PE [1], [2]

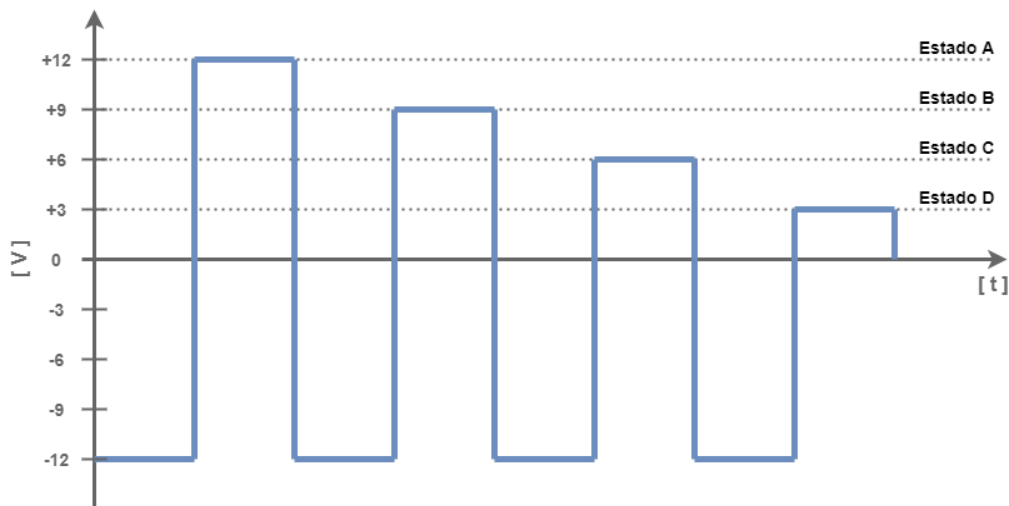
| Resistência PP-PE               | Corrente Máxima | Secção do Condutor   |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|
| Aberto, ou $\infty \Omega$      | 6 A             | 0,75 mm <sup>2</sup> |
| 1500 $\Omega$                   | 13 A            | 1,5 mm <sup>2</sup>  |
| 680 $\Omega$                    | 20 A            | 2,5 mm <sup>2</sup>  |
| 220 $\Omega$                    | 32 A            | 6 mm <sup>2</sup>    |
| 100 $\Omega$                    | 63 A            | 16 mm <sup>2</sup>   |
| 50 $\Omega$ , ou $< 100 \Omega$ | 80 A            | 25 mm <sup>2</sup>   |

O pino de sinalização CP, representado pelo circuito 4 (pino 4) na Figura 4-6 foi concebido para ser facilmente processado por eletrónica analógica. O EVSE inicia no estado CP A (ver Tabela 4.4) e aplica uma tensão de +12 V ao CP. Ao detetar a resistência R3 (2,74 k $\Omega$ ) entre o pino CP e o pino PE, o EVSE altera o estado CP para B, e aplica um sinal de onda quadrada a 1 kHz cuja tensão é  $\pm 12$  V (24 V pico a pico). O EV pode solicitar carregamento, ao alterar a resistência CP-PE para 882  $\Omega$  (2,74 k $\Omega$  // 1.3 k $\Omega$ ) ou 246  $\Omega$  (2,74 k $\Omega$  // 270  $\Omega$ ), dependendo do valor de R2 (1,3 k $\Omega$  ou 270  $\Omega$ ). Quando a resistência CP-PE é 882  $\Omega$ , o EV solicita carregamento sem ventilação, mas quando é 246  $\Omega$  solicita o carregamento com ventilação. Ou seja, o estado CP altera-se consoante a resistência equivalente CP-PE detetada no circuito. Quando o conector do EVSE é ligado à entrada do EV, a resistência de 2,74 k $\Omega$  é detetada no circuito CP-PE, o que faz com que a tensão neste circuito baixe de +12

V para +9 V, passando do estado CP A (sem ligação) para o estado CP B (EV detetado). O carregamento é acionado pelo EV ao adicionar uma resistência de 1,3 k $\Omega$  no circuito, em paralelo com a de 2,74 k $\Omega$ , resultando numa resistência equivalente CP-PE de 882  $\Omega$ . Com essa resistência equivalente (de 882  $\Omega$ ) a tensão no circuito diminui para +6 V, passando para o estado CP C (carregamento sem ventilação). Se o EV adicionar uma resistência de 270  $\Omega$  no circuito em paralelo com a de 2,74 k $\Omega$ , ao invés de uma de 1,3 k $\Omega$ , o resultado será uma resistência CP-PE de 246  $\Omega$ . Esta resistência equivalente de 246  $\Omega$  fará com que a tensão baixe dos +6 V para os +3 V, e o estado CP passe para o estado D (carregamento com ventilação). O diódo presente no circuito CP-PE garante que a apenas a tensão positiva baixe, ficando a negativa sempre nos -12 V. Qualquer oscilação de tensão negativa fará com que o circuito desligue, considerando essa oscilação como um erro (estado CP F) [6], [7]. Os estados CP podem ser acompanhados em melhor pormenor na Tabela 4.4 e Figura 4-7.

**Tabela 4.4** - Descrição dos Estados CP [6], [7]

| Estados CP | Descrição de Estado         | Resistência CP-PE            | Tensão CP-PE |
|------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
| A          | Sem ligação                 | Aberto, ou $\infty$ $\Omega$ | +12 V        |
| B          | EV detetado                 | 2,74 k $\Omega$              | +9 $\pm$ 1 V |
| C          | Carregamento sem ventilação | 882 $\Omega$                 | +6 $\pm$ 1 V |
| D          | Carregamento com ventilação | 246 $\Omega$                 | +3 $\pm$ 1 V |
| E          | Desligado                   |                              | 0 V          |
| F          | Erro                        |                              | -12 V        |

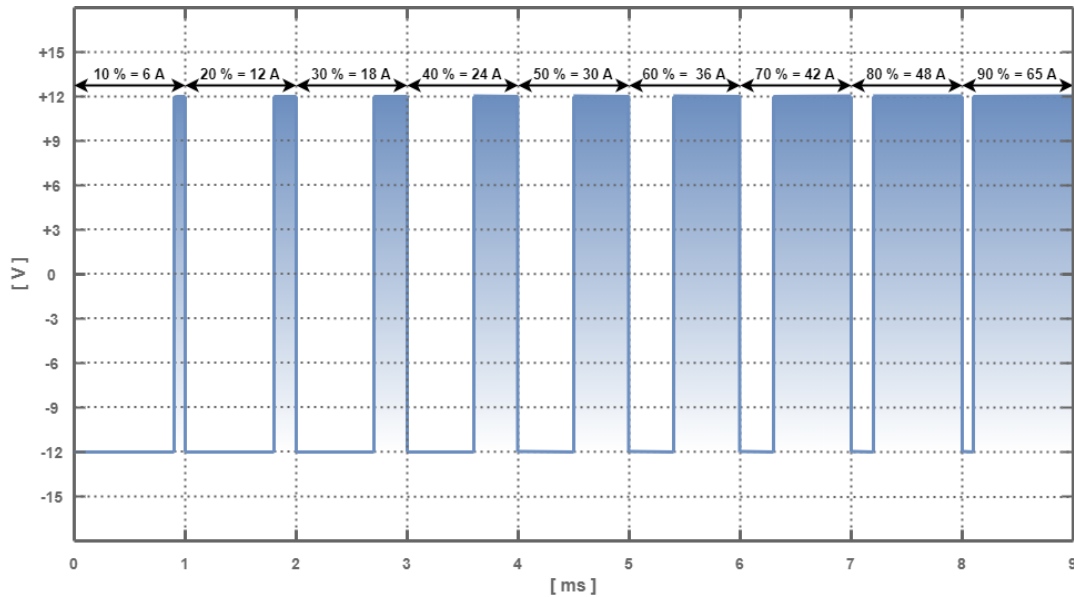


**Figura 4-7 - Gráfico dos Estados CP**

O EVSE aproveita também a onda quadrada de 1kHz para transmitir ao EV a sua corrente máxima de carregamento. Ao usar modulação por largura de pulso (*Pulse Width Modulation*, PWM), o EVSE faz variar o *duty cycle* indicando ao EV diferentes valores de corrente disponível [6], [7].

$$Corrente [A] = \begin{cases} 0,6 \times DutyCycle [\%] & 10\% \leq DutyCycle \leq 85\% \\ (DutyCycle [\%] - 64) \times 2,5 & 85\% < DutyCycle \leq 95\% \end{cases} \quad (4.16)$$

Através da equação (4.16) [7], o EVSE define o *duty cycle* do sinal PWM, relacionando o estado superior e com o estado inferior da onda durante 1 ms. Ou seja, diferentes percentagens de *duty cycle*, correspondem a diferentes correntes disponíveis pelo EVSE como podemos ver na Figura 4-8.



**Figura 4-8 - Variação da Corrente com o Duty Cycle [7]**

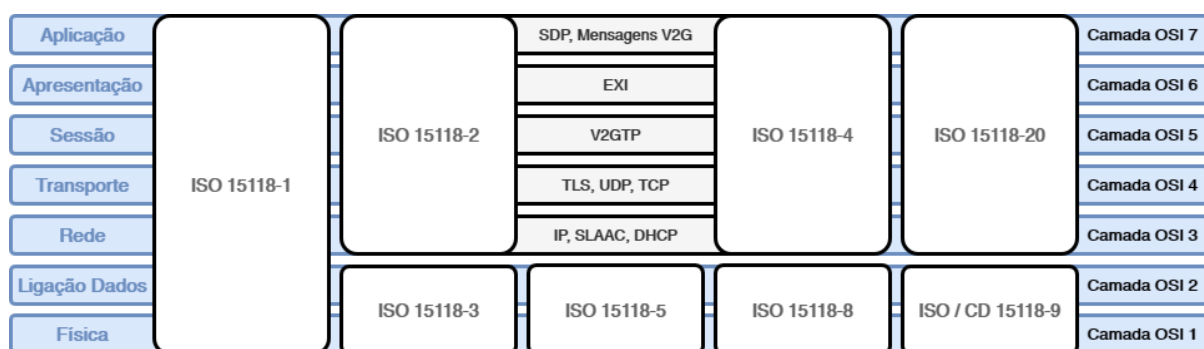
#### 4.2.2. Protocolo de Comunicação de Alto Nível da Norma ISO 15118

Em 2010, a International Organization for Standardization (ISO) e a International Electrotechnical Commission (IEC), uniram forças para criar o ISO/IEC 15118 Joint Working Group. Entretanto a ISO assumiu a publicação da norma e agora é conhecida simplesmente por ISO 15118 “*road vehicles – vehicle to grid communication interface*”. Esta norma define a informação geral acerca da infraestrutura de carregamento, descrevendo protocolos de comunicação digital usados pelo EV e pelo EVSE durante o carregamento.

Quando um EV se conecta a um EVSE, o controlador de comunicação do veículo elétrico (*Electric Vehicle Communication Controller*, EVCC) e o controlador de comunicação do equipamento de carga (*Supply Equipment Communication Controller*, SECC), estabelecem uma rede de comunicação que permite a troca de mensagens de alto nível. O objetivo desta rede de comunicação é a de trocar informação entre ambos sobre o início e fim de carregamento, taxas de pagamentos, autenticações e segurança [8].

#### 4.2.2.1. ISO 15118 e o Modelo OSI

Na Figura 4-9 é possível observar como se relaciona cada uma das 8 partes da norma ISO 15118 com as 7 camadas do modelo Open System Interconnection (OSI), de modo a estabelecer uma comunicação *standard* conforme a norma.



**Figura 4-9 - ISO 15118 e o Modelo OSI**

Cada camada do modelo OSI é construída baseada na camada subjacente. Nas camadas Física e de Ligação de Dados, a norma ISO 15118 começou por considerar a Power Line Communication (PLC) como o principal meio de comunicação, nomeadamente o HomePlug Green PHY (HPGP) (ISO 15118-3). Em 2018, a norma definiu os requisitos técnicos para comunicação sem fio de alto nível (ISO 15118-8) usando a tecnologia de comunicação sem fio IEEE 802.11. Assim, a IEEE 802.11 juntou-se à tecnologia PLC como principal solução de comunicação para as camadas 1 e 2 do modelo OSI, sendo o IEEE 802.11 utilizado para carregamento sem fios e o PLC utilizado para carregamento condutivo [9], [10]. Em seguida serão descritas as camadas do modelo OSI focando apenas o carregamento condutivo da ISO 15118 (ISO 15118-2 e ISO 15118-3).

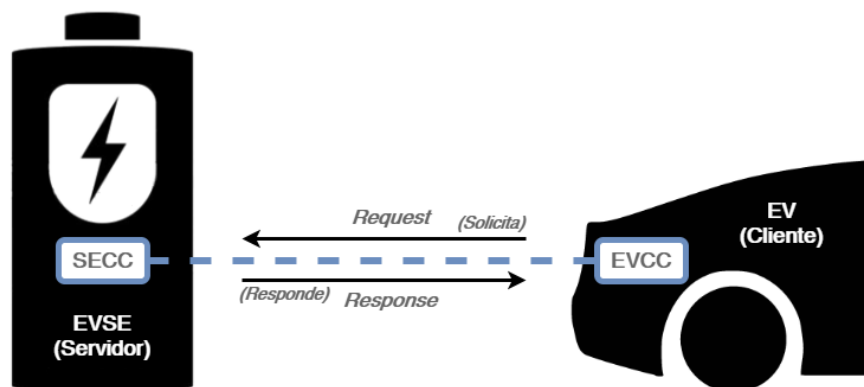
Na camada de Ligação de Dados, são aplicadas as especificações de sinal do PLC, que contém duas características especiais, a Service Access Point (SAP) e a Signal Level Attenuation Characterization (SLAC). O estado do CP no qual o EV está a carregar é expresso pelo sinal PWM (IEC 61851-1) e não pelo sinal PLC. No entanto, na norma ISO 15118, a leitura do estado CP do EV é necessária. O SAP é



utilizado para fornecer uma interface de comunicação entre as camadas do modelo OSI e permite que o estado CP seja enviado e inserido na camada de Ligação de Dados, que por sua vez permite o envio de informações para as camadas superiores do modelo OSI. Ao nível do PLC, o SLAC determina se o sinal foi recebido, ou não, medindo a força desse sinal. Esta função consegue lidar com o fenômeno da diafonia que ocorre nas redes de comunicação elétrica, permitindo que o EVCC encontre o SECC quando este estiver ligado diretamente da forma correta. Na camada de Rede, a comunicação Internet Protocol (IP) utiliza a versão 6 (IPv6). A norma definiu o esquema de endereçamento IPv6 como obrigatório e, nesta camada, é definido sobre Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC) ou Dynamic Host Configuration Protocol para IPv6 (DHCPv6). Na camada de Transporte, a comunicação é realizada por meio do User Datagram Protocol (UDP) e do Transmission Control Protocol (TCP). O UDP é usado para transmitir mensagens SECC Discovery Protocol (SDP) e o TCP é usado para comunicações ponto a ponto de alto nível. Em ambos os casos, o Transport Layer Security (TLS) pode ser usado como uma camada de segurança e criptografia de comunicação. Na camada de Sessão, o Vehicle-to-Grid Transfer Protocol (V2GTP) é usado para definir o cabeçalho e a estrutura de dados da comunicação e o endereço da porta. Todas as mensagens trocadas na camada de Sessão circulam em pacotes V2GTP. Na camada de Apresentação, cada mensagem usa o formato Extensive Mark-Up Language (XML), um dos formatos mais comuns na Internet. Porém, na prática, o Efficient XML Interchange (EXI) é utilizado para a codificação e troca de mensagens de comunicação de alto nível, pois reduz o “peso” da comunicação. Por fim, na camada de Aplicação, um conjunto de mensagens V2G é utilizado pelo SECC e EVCC para que troquem informações relacionadas ao processo de carregamento. Esta camada usa a ligação estabelecido para trocar qualquer mensagem relacionada aos casos de uso definidos por esta norma, seja para carregamento AC, carregamento DC ou carregamento sem fios [11]–[14]. Em seguida serão descritas as mensagens V2G que são trocadas nesta última camada.

#### 4.2.2.2. Mensagens V2G

O controlador de comunicação do equipamento de carga e o controlador de comunicação do veículo elétrico são os responsáveis pela comunicação de alto nível (*High Level Communication*, HLC), que controla o procedimento geral de carregamento. A comunicação na norma ISO 15118 é realizada no modelo cliente-servidor, através de uma série de mensagens *request-response* (Figura 4-10). Para cada tipo de mensagem V2G, o cliente (EVCC), envia uma mensagem de solicitação (*request*), à qual o servidor (SECC) interage com uma mensagem de resposta (*response*) [14].



**Figura 4-10** - Modelo Cliente-Servidor do Protocolo de Comunicação da ISO 15118

Através destas mensagens, o EV e o EVSE trocam as informações necessárias antes, durante e após o carregamento. A mensagem V2G está estruturada em duas partes, o cabeçalho e o corpo. O cabeçalho da mensagem transporta informação sobre o objeto de comunicação, como o identificador de sessão de comunicação. O corpo da mensagem inclui informação detalhada acerca do tipo de mensagem V2G. Por exemplo, no corpo de numa mensagem de solicitação V2G de um dado tipo, é transportada informação sobre o veículo elétrico, referente a esse tipo de mensagem. Já no corpo da mensagem de resposta V2G, é transportada informação sobre EVSE, referente ao tipo de mensagem V2G.

Existem vários tipos de mensagens V2G trocadas entre o EVCC e o SECC. Na Tabela 4.5 é possível observar todos os tipos de mensagens V2G que são trocadas numa sessão de comunicação [13]–[16].

Tabela 4.5 - Tipos de Mensagens V2G [13]

|                          |
|--------------------------|
| SessionSetup             |
| ServiceDiscovery         |
| ServiceDetail            |
| PaymentServiceSelection  |
| CertificateUpdate        |
| CertificateInstallation  |
| Authorization            |
| PaymentDetails           |
| ChargeParameterDiscovery |
| PowerDelivery            |
| ChargingStatus           |
| MeteringReceipt          |
| CableCheck               |
| PreCharge                |
| CurrentDemand            |
| WeldingDetection         |
| SessionStop              |

De forma estabelecer a ligação para a sessão de comunicação através de mensagens V2G são usadas duas mensagens especiais, a *SECCDiscovery* e a *SupportedAppProtocol*.

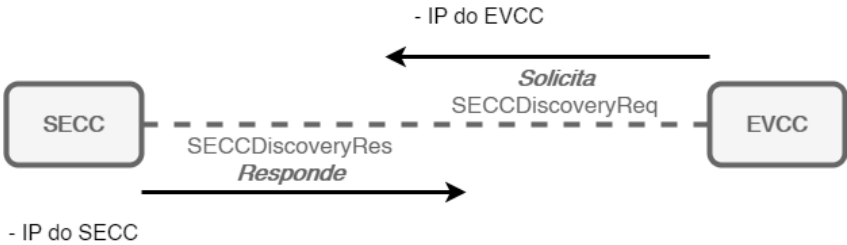
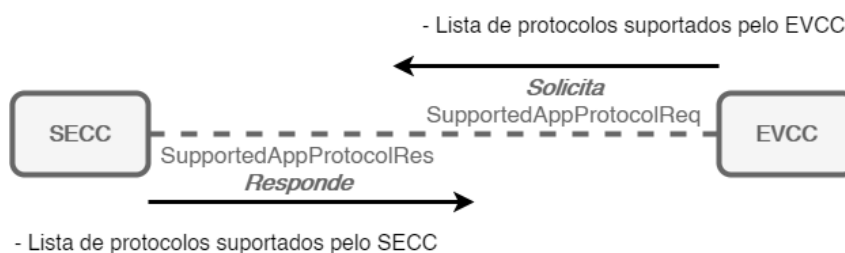


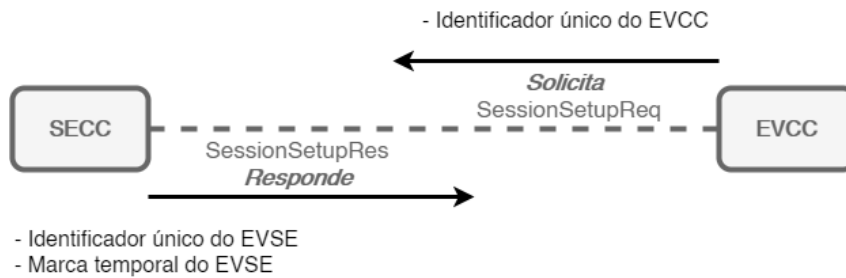
Figura 4-11 - Mensagem SECCDiscovery

Embora a mensagem *SECCDiscovery* não entre no leque de mensagens V2G do protocolo de comunicação da ISO 15118, é através dela que a ligação entre o controlador de comunicação do veículo elétrico e o controlador de comunicação do equipamento de carga é iniciada. O EVCC começa por encaminhar a mensagem de solicitação *SECCDiscoveryReq*, contendo o seu IP, através de UDP, sem especificar o destino (Figura 4-11). Por sua vez, o SECC que está à espera de ligação, recebe a solicitação proveniente do EVCC e encaminha a mensagem de resposta contendo o seu IP (Figura 4-11). Depois da troca de IP entre ambos os controladores de comunicação, é estabelecida uma ligação baseada em IP. Esta mensagem também serve para trocar informação acerca de suporte do protocolo TLS [14], [16]–[19].



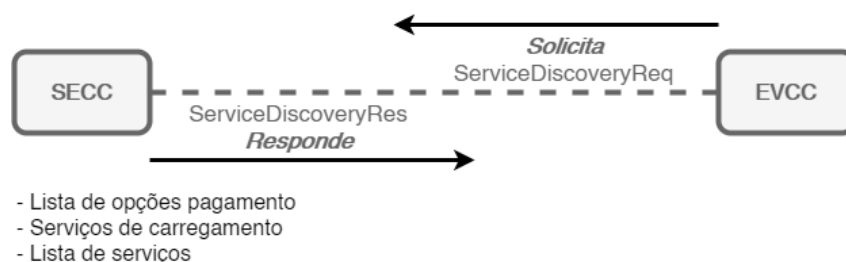
**Figura 4-12** - Mensagem *SupportedAppProtocol*

Após a troca da mensagem *SECCDiscovery*, é iniciada a troca da mensagem *SupportedAppProtocol*, que assim como a *SECCDiscovery* também não faz parte do leque de mensagens V2G do protocolo de comunicação da ISO 15118. O EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação contendo a lista de protocolos suportados pelo EV. Por sua vez, o SECC envia a mensagem de resposta contendo a lista de protocolos compatíveis com o veículo (Figura 4-12). Só depois de uma negociação, entre o EV e o EVSE, acerca dos protocolos suportados é iniciada a troca de mensagens V2G, isto se ambos suportarem o protocolo de comunicação ISO 15118. Esta mensagem segue-se à mensagem *SECCDiscovery* e é seguida pela mensagem V2G *SessionSetup* [14], [16]–[19].



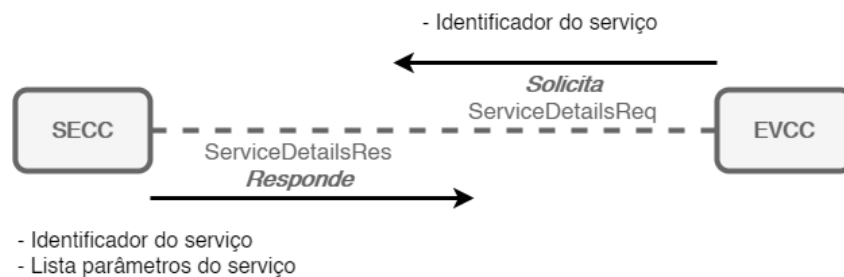
**Figura 4-13 - Mensagem V2G SessionSetup**

A mensagem V2G *SessionSetup* é a primeira mensagem a ser trocada no âmbito de uma sessão de comunicação através de mensagens V2G. A sessão de comunicação tem início quando o EVCC envia a mensagem de solicitação (*SessionSetupReq*). No corpo da mensagem de solicitação, o EVCC envia o seu identificador único [EVCCID]. Por sua vez, em resposta à solicitação, o SECC envia no corpo da mensagem de resposta (*SessionSetupRes*) o identificador único do EVSE [EVSEID] e a sua marca temporal [EVSETimeStamp] (Figura 4-13). Nesta mensagem é enviado também, pela primeira vez, o identificador de sessão de comunicação [SessionID], nos cabeçalhos das mensagens de solicitação e de resposta. O SessionID tem a particularidade de ser trocado nos cabeçalhos de todas as mensagens V2G, identificando assim a que sessão de comunicação pertence determinada mensagem V2G. Esta mensagem é seguida pela mensagem V2G *ServiceDiscovery* [14], [16]–[19].



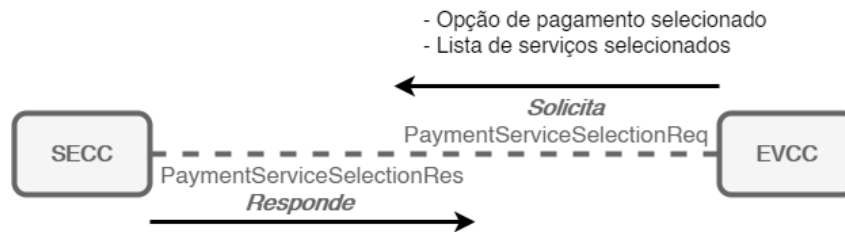
**Figura 4-14 - Mensagem V2G ServiceDiscovery**

Na *ServiceDiscovery*, o EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (*ServiceDiscoveryReq*). O SECC ao receber a mensagem de solicitação, retribui com a mensagem de resposta (*ServiceDiscoveryRes*) que contém no seu corpo os seus serviços disponíveis. Estes serviços englobam as opções de pagamento e os serviços de carregamento (tipos de carregamento) como é possível observar na Figura 4-14. As opções de pagamento podem ser: (1) contrato, via Plug & Charge (PnC) ou (2) pagamento externo (*External Identification Means*, EIM), via RFID por exemplo. Já os tipos de carregamento podem ser: (1) corrente alternada monofásica, (2) corrente alternada trifásica e (3) corrente contínua. Esta mensagem V2G é seguida pela mensagem V2G *Service Details* quando solicitados serviços de valor acrescentado (*Value Added Services*, VAS), ou pela mensagem V2G *PaymentServiceSelection* quando não são solicitados VAS [14], [16]–[19].



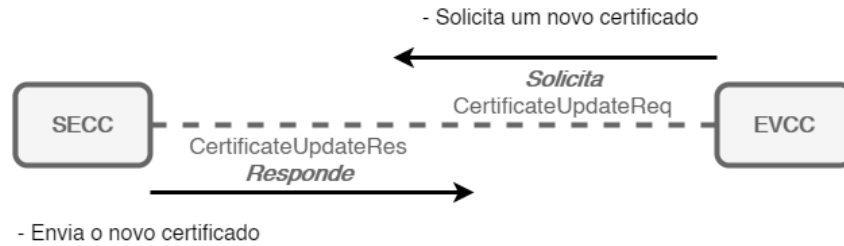
**Figura 4-15 - Mensagem V2G ServiceDetails**

A mensagem V2G *ServiceDetails* permite a troca de parâmetros não necessários para a transferência de energia entre o EV e o EVSE, daí ser uma mensagem de carácter opcional. Esta mensagem só é usada numa sessão de comunicação quando são solicitados serviços de valor acrescentado (VAS). O EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (*ServiceDetailsReq*), contendo no seu corpo o identificador do serviço ao qual pretende obter informação. Por sua vez, o SECC retribui com a mensagem de resposta (*ServiceDetailsRes*), que contém no seu corpo a lista com os parâmetros do serviço escolhido pelo EVCC (Figura 4-15). Esta mensagem V2G é seguida pela mensagem V2G *PaymentServiceSelection* [14], [16]–[19].



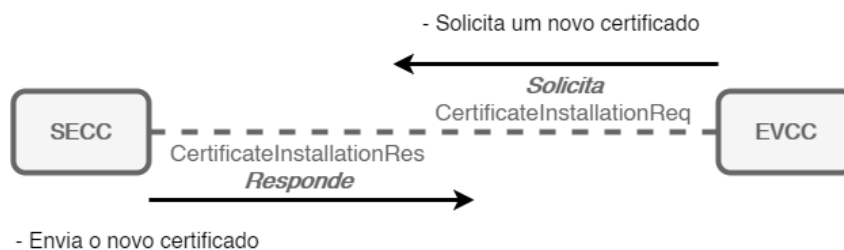
**Figura 4-16** - Mensagem V2G *PaymentServiceSelection*

A mensagem V2G *PaymentServiceSelection*, tem a finalidade de transportar a informação do serviço escolhido, assim como especificar como esses serviços são pagos. Para tal, o EVCC envia no corpo da mensagem de solicitação (*PaymentServiceSelectionReq*) os serviços escolhidos e a opção de pagamento escolhida, como é possível observar na Figura 4-16. Os serviços e a opção de pagamento solicitadas devem coincidir com as enviadas pelo SECC anteriormente na mensagem *ServiceDiscovery*. Se assim for, o SECC envia na mensagem de resposta (*PaymentServiceSelectionRes*) o código com o valor “OK”, que confirma que os serviços e a opção de pagamento escolhida foram aceites. Esta mensagem V2G é precedida: (1) pela mensagem V2G *ServiceDetails* quando solicitados VAS, ou (2) pela mensagem V2G *ServiceDiscovery* quando os VAS não são solicitados. É seguida: (1) pela mensagem V2G *PaymentDetails* se a opção de pagamento for PnC, ou (2) pela mensagem V2G *CertificateInstallation* se a opção de pagamento for PnC e necessitar de instalar certificados, ou (3) pela mensagem V2G *CertificateUpdate* se a opção de pagamento for PnC e necessitar atualizar certificados, ou (4) pela mensagem V2G *Authorization* se a opção de pagamento for EIM [14], [16]–[19].



**Figura 4-17** - Mensagem V2G CertificateUpdate

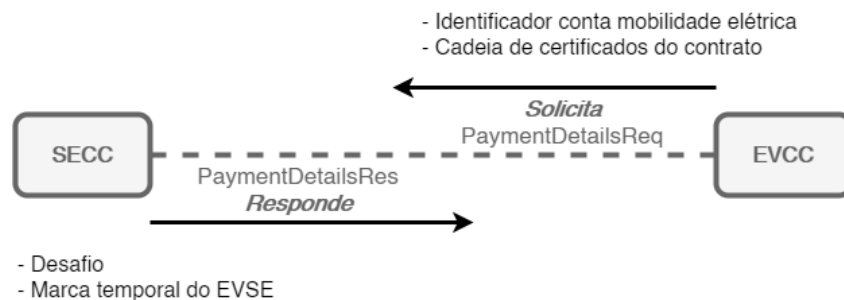
A mensagem V2G *CertificateUpdate* é usada quando existe a necessidade de atualização de certificados. Esta necessidade é verificada quando os certificados estão a poucos dias de expirar. Estes certificados apenas são utilizados quando a opção de pagamento selecionada for Plug & Charge. Quando o EVCC envia a mensagem de solicitação (*CertificateUpdateReq*), está a pedir ao SECC um novo certificado pertencente ao seu contrato atualmente válido. Depois de receber a mensagem de solicitação, o SECC estabelece uma comunicação online e requisita o novo certificado ao ator secundário. Um ator secundário consiste numa entidade envolvida indiretamente com o processo de carga. De seguida, o SECC envia ao EVCC o novo certificado na mensagem de resposta (*CertificateUpdateRes*) (Figura 4-17). Os parâmetros trocados nos corpos das mensagens de solicitação e resposta não são descritos pois é necessário um conhecimento avançado dos mecanismos de criptografia do Plug & Charge que não são abordados neste trabalho. Esta mensagem é precedida pela mensagem V2G *PaymentServiceSelection* e é seguida pela mensagem V2G *PaymentDetails* [14], [16]–[19].



**Figura 4-18** - Mensagem V2G CertificateInstallation



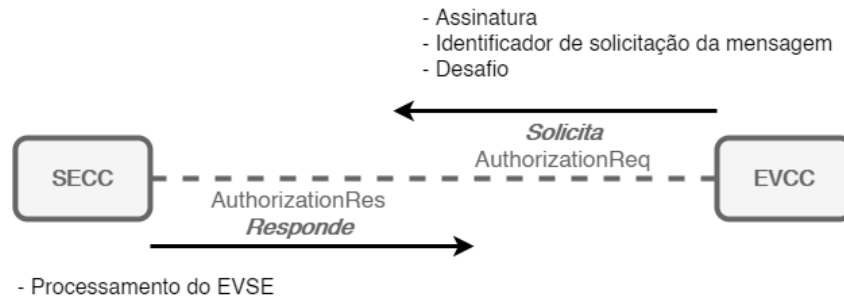
A mensagem V2G *CertificateInstallation*, é usada quando existe a necessidade de instalação de certificados. Estes certificados são utilizados apenas quando a opção de pagamento selecionada for Plug & Charge. Quando o EVCC envia a mensagem de solicitação (*CertificateInstallationReq*), está a pedir ao SECC um novo certificado pertencente ao seu contrato atualmente válido. Depois de receber a mensagem de solicitação, o SECC envia o novo certificado na mensagem de resposta (*CertificateInstallationRes*) (Figura 4-18). Os parâmetros trocados nos corpos das mensagens de solicitação e resposta não são descritos pela mesma razão apresentada anteriormente na descrição da mensagem V2G *CertificateUpdate*. A mensagem V2G *CertificateInstallation* é precedida pela mensagem V2G *PaymentServiceSelection* e é seguida pela mensagem V2G *PaymentDetails* [14], [16]–[19].



**Figura 4-19** - Mensagem V2G *PaymentDetails*

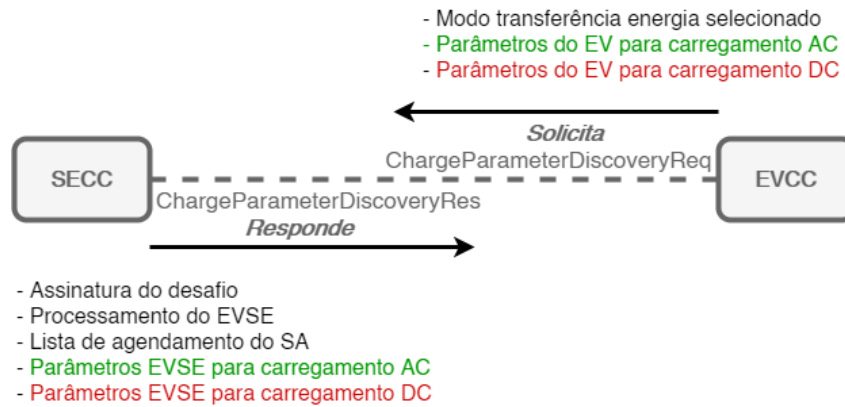
Na mensagem V2G *PaymentDetails* são trocados os detalhes do pagamento. O EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (*PaymentDetailsReq*), contendo no seu corpo o identificador da conta de mobilidade elétrica e a cadeia de certificados do contrato (Figura 4-19). Por sua vez, o SECC retribui com a mensagem de resposta (*PaymentDetailsRes*), contendo no seu corpo a marca temporal do EVSE e o desafio que mais tarde será assinado pelo EVCC. Esta mensagem é precedida: (1) pela mensagem V2G *PaymentServiceSelection* se a opção de pagamento for PnC, ou (2) pela mensagem V2G *CertificateInstallation* se a opção de pagamento for PnC e necessitar de instalar certificados, ou (3) pela

*CertificateUpdate* se a opção de pagamento for PnC e necessitar atualizar certificados. A ela segue-se a mensagem *V2G Authorization* [14], [16]–[19].



**Figura 4-20** - Mensagem V2G Authorization

Na mensagem *V2G Authorization* é realizada a autorização para carregamento. Para tal, o EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (*AuthorizationReq*). No cabeçalho desta mensagem, além do identificador de sessão de comunicação, o EVCC envia também a assinatura ao desafio enviado anteriormente na mensagem de resposta *PaymentDetailsRes*. Já no corpo da mensagem de solicitação é enviado o identificador de solicitação da mensagem e o desafio para mais tarde ser assinado pelo SECC. De seguida o SECC, retribui com a mensagem de resposta contendo no seu corpo a mensagem de processamento do EVSE como é possível observar na Figura 4-20. Esta mensagem V2G segue: (1) à mensagem *V2G PaymentServiceSelection* se a opção de pagamento for EIM, ou (2) à *PaymentDetails* se a opção de pagamento for PnC. É seguida pela mensagem *V2G ChargeParameterDiscovery* [14], [16]–[19].



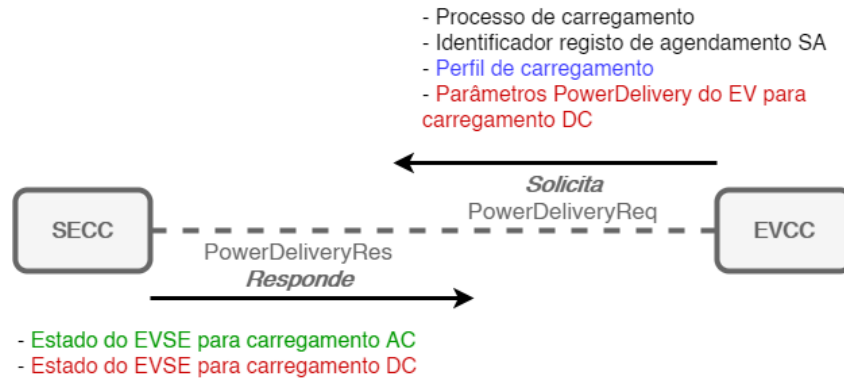
**Figura 4-21** - Mensagem V2G *ChargeParameterDiscovery*

Na mensagem V2G *ChargeParameterDiscovery* são trocados os parâmetros relativos ao início do carregamento. O EVCC começa por fornecer no corpo da mensagem de solicitação (*ChargeParameterDiscoveryReq*) o modo de transferência de energia pretendido e os parâmetros de carregamento conforme o modo de transferência de energia (Figura 4-21). Se o modo de transferência de energia selecionado for corrente alternada (AC), o EVCC envia no corpo da mensagem os parâmetros do veículo elétrico para carregamento AC. Estes parâmetros incluem: (1) a quantidade de energia necessária para carregar o EV [EAmount], (2) o tempo em que o EV pretende deixar o EVSE [DepartureTime], (3) a tensão máxima suportada pelo EV [EVMaxVoltage], (4) a corrente máxima suportada pelo EV [EVMaxCurrent] e (5) a corrente mínima suportada pelo EV [EVMinCurrent]. Se o modo de transferência de energia selecionado for corrente contínua (DC), o EVCC envia no corpo da mensagem os parâmetros do veículo elétrico para carregamento DC. Estes parâmetros incluem: (1) a quantidade de energia necessária para carregar o EV [EVEnergyRequest], (2) o limite máximo de corrente suportado pelo EV [EVMaximumCurrentLimit], (3) o limite máximo de tensão suportado pelo EV [EVMaximumVoltageLimit] e (4) o estado atual do EV para carregamento DC [DC\_EVStatus]. O estado atual do EV para carregamento DC é composto pelo estado de carga (*State of Charge*, SoC) da bateria do EV [EVRESSoC] e pelos códigos relativos a erros e disponibilidade do EV.

Depois de receber a mensagem de solicitação por parte do EVCC, o SECC envia a mensagem de resposta (*ChargeParameterDiscoveryRes*). No cabeçalho desta mensagem, além do identificador de sessão de comunicação, o SECC envia também a assinatura ao desafio enviado anteriormente na mensagem de solicitação *AuthorizationReq*. No corpo desta mensagem, o SECC envia a mensagem de processamento do EVSE, a lista de agendamento do ator secundário e os parâmetros do EVSE para o modo de transferência de energia escolhido, como é possível observar na Figura 4-21. Se o modo de transferência de energia selecionado for AC, o SECC envia no corpo da mensagem os parâmetros do EVSE para carregamento AC. Estes parâmetros incluem: (1) a tensão nominal do EVSE [EVSENominalVoltage], (2) a corrente máxima suportada pelo EVSE [EVSEMaxCurrent] e (3) o estado atual do EVSE para carregamento AC [AC\_EVSEStatus]. O estado atual do EVSE para carregamento AC é composto pelos códigos relativos a erros e disponibilidade do EVSE para este modo de transferência de energia. Se o modo de transferência de energia selecionado for DC, o SECC envia no corpo da mensagem os parâmetros do EVSE para carregamento DC. Estes parâmetros incluem: (1) o limite máximo de corrente suportado pelo EVSE [EVSEMaximumCurrentLimit], (2) o limite mínimo de corrente suportado pelo EVSE [EVSEMinimumCurrentLimit], (3) o limite máximo de tensão suportado pelo EVSE [EVSEMaximumVoltageLimit], (4) o limite mínimo de tensão suportado pelo EVSE [EVSEMinimumVoltageLimit], (5) o pico da corrente de ripple [EVSEPeakCurrentRipple] e (6) o estado atual do EVSE para carregamento DC [DC\_EVStatus]. O estado atual do EVSE para carregamento DC é composto pelos códigos relativos a erros e disponibilidade do EVSE para este modo de transferência de energia.

A mensagem V2G *ChargeParameterDiscovery* segue à mensagem V2G *Authorization*, ou à mensagem V2G *PowerDelivery* quando solicitada uma renegociação. E é seguida pela mensagem V2G *PowerDelivery* se o tipo de

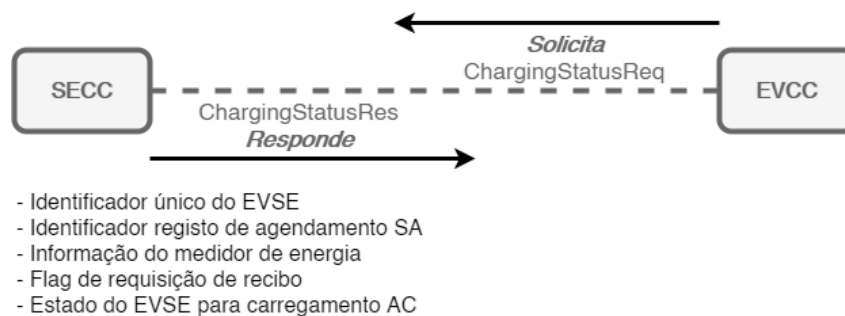
carregamento solicitado for AC, ou pela mensagem V2G *CableCheck* se o tipo de carregamento solicitado for DC [14], [16]–[19].



**Figura 4-22 - Mensagem V2G PowerDelivery**

A mensagem V2G *PowerDelivery* tem o objetivo de começar e parar o processo de carregamento. O EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (*PowerDeliveryReq*) contendo no seu corpo o identificador do registo de agendamento do ator secundário e o estado do processo de carregamento [ChargingProgress]. O estado do processo de carregamento pode conter o valor “Start”, “Renegotiate” e “Stop”. Sempre que na mensagem de solicitação o estado do processo de carregamento contiver o valor “Start”, o EVCC envia no corpo desta mensagem, juntamente com os anteriores parâmetros, o perfil de carregamento que o mesmo irá seguir, como é possível observar na linha delimitada a azul na Figura 4-22. Ainda no corpo da mensagem de solicitação, se o modo de transferência de energia escolhido for DC, são enviados também os parâmetros PowerDelivery do EV para corrente contínua. Depois de receber a mensagem de solicitação, o SECC envia a mensagem de resposta (*PowerDeliveryRes*) contendo no seu corpo o estado do EVSE. Os parâmetros enviados no estado do EVSE dependem do modo de transferência de energia escolhido. Se o modo de transferência de energia escolhido for AC, o SECC envia o estado do EVSE para carregamento AC. Já se for DC, é enviado o estado do EVSE para carregamento DC como é possível observar na Figura 4-22. A mensagem V2G *PowerDelivery* segue: (1) à mensagem V2G

*ChargeParameterDiscovery* quando o tipo de carregamento solicitado é AC, ou (2) à mensagem V2G *PreCharge* quando o tipo de carregamento solicitado é DC, ou (3) à mensagem V2G *ChargingStatus* quando o tipo de carregamento solicitado é AC e é solicitada uma paragem ou renegociação, ou (4) à mensagem V2G *CurrentDemand* quando o tipo de carregamento solicitado é DC e é solicitada uma paragem ou renegociação, ou (5) à mensagem V2G *MeteringReceipt* quando o é requisitado recibo de medição (MR), a opção de pagamento solicitada é PnC e é solicitada uma paragem ou renegociação. Esta mensagem V2G é seguida: (1) pela mensagem V2G *ChargingStatus* se o tipo de carregamento solicitado for AC, ou (2) pela mensagem V2G *CurrentDemand* se o tipo de carregamento solicitado for DC, ou (3) pela mensagem V2G *ChargeParameterDiscovery* se for solicitada uma renegociação, ou (4) pela mensagem V2G *SessionStop* se o tipo de carregamento solicitado for AC, e solicitada uma paragem, ou (5) pela mensagem V2G *WeldingDetection* se o tipo de carregamento solicitado for DC, e solicitada uma paragem [14], [16]–[19].

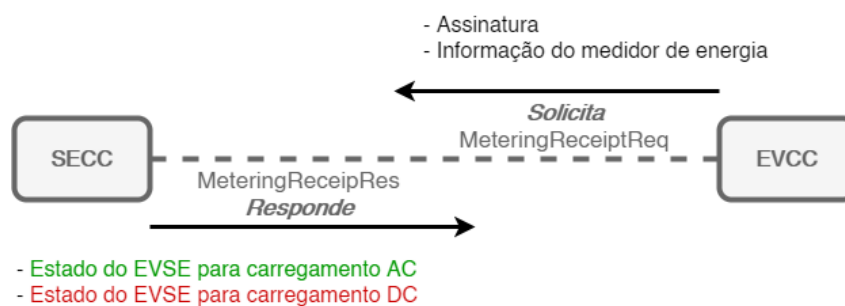


**Figura 4-23** - Mensagem V2G *ChargingStatus*

A *ChargingStatus* é responsável pelo *loop* de carregamento quando o modo de transferência de energia escolhido é corrente alternada (AC). O *loop* de carregamento consiste no ciclo repetitivo em que é realizada transferência de energia por parte do equipamento de carga para a bateria do veículo elétrico. O *loop* de carregamento pode ser acompanhado também pela mensagem *MeteringReceipt*

se a opção de pagamento for PnC e for requisitado recibo de medição. O EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (*ChargingStatusReq*), à qual o SECC retribui com a mensagem de resposta (*ChargingStatusRes*). No corpo da mensagem de resposta, o SECC envia: (1) o identificador único do EVSE, (2) o identificador do registo de agendamento do ator secundário, (3) a informação referente ao medidor de energia, (4) o estado atual do EVSE para carregamento AC e (5) o indicador de requisição de recibo de medição (Figura 4-23). Esta mensagem V2G é procedida: (1) pela mensagem V2G *PowerDelivery* quando o tipo de carregamento solicitado é AC, ou (2) pela mensagem V2G *MeteringReceipt* se a opção de pagamento for PnC e for requisitado MR no *loop* de carregamento.

Esta mensagem é seguida: (1) pela mensagem V2G *PowerDelivery* quando é solicitada uma paragem ou renegociação, ou (2) pela mensagem V2G *MeteringReceipt* se a opção de pagamento solicitada for PnC e solicitado MR no *loop* de carregamento [14], [16]–[19].

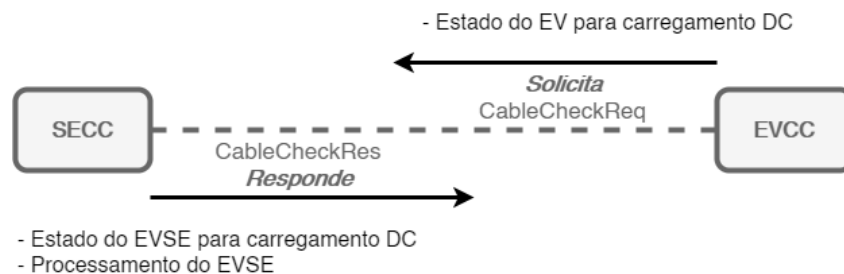


**Figura 4-24** - Mensagem V2G *MeteringReceipt*

A mensagem V2G *MeteringReceipt* apenas é usada quando a opção de pagamento é PnC e for requisitado MR durante o *loop* de carregamento. Esta mensagem V2G tem como objetivo assinar digitalmente a informação referente à medição de energia de carregamento. O EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (*MeteringReceiptReq*), contendo no seu corpo a informação referente ao medidor de energia (fornecida anteriormente pelo SECC no *loop* de carregamento) e a sua assinatura referente a essa informação. Por sua vez, o SECC envia a



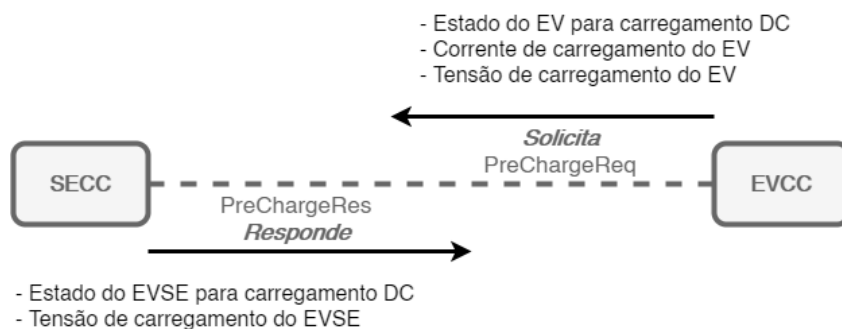
mensagem de resposta (*MeteringReceiptRes*), contendo no seu corpo o estado do EVSE referente ao modo de transferência de energia escolhido (Figura 4-24). Esta mensagem V2G segue-se: (1) à mensagem V2G *ChargingStatus* quando o tipo de carregamento solicitado é AC, a opção de pagamento for PnC e for solicitado MR durante o *loop* de carregamento, ou (2) à *CurrentDemand* quando o tipo de carregamento solicitado é DC, a opção de pagamento for PnC e for solicitado MR no *loop* de carregamento. A mensagem V2G *MeteringReceipt* é seguida: (1) pela mensagem V2G *PowerDelivery* quando é solicitada uma paragem ou renegociação, ou (2) pela *ChargingStatus* quando o tipo de carregamento solicitado é AC, ou (3) pela *CurrentDemand* quando o tipo de carregamento solicitado é DC [14], [16]–[19].



**Figura 4-25** - Mensagem V2G *CableCheck*

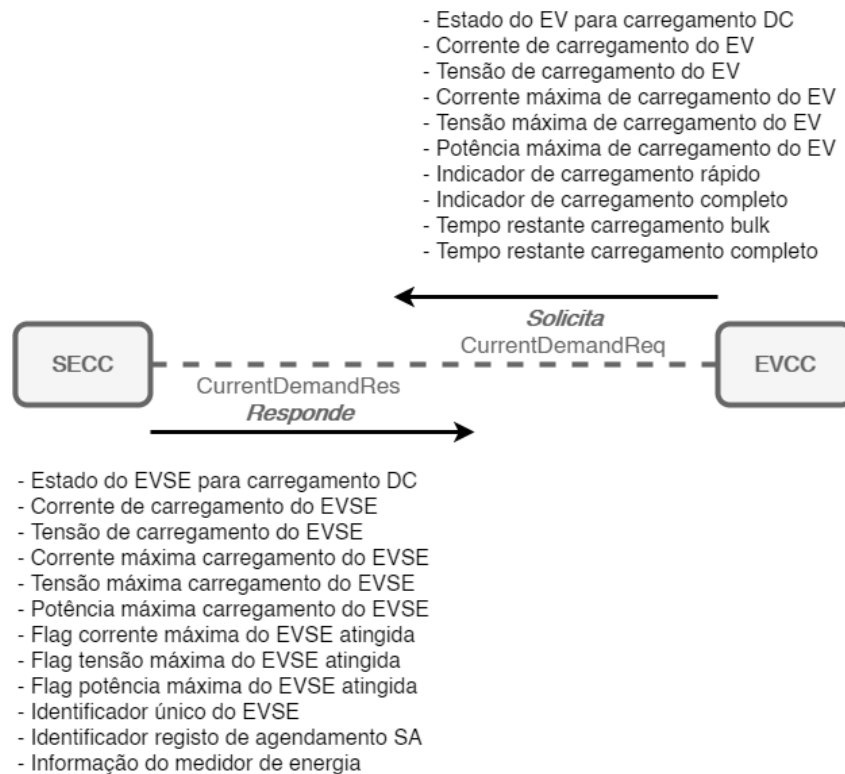
A mensagem V2G *CableCheck* é usada apenas se o modo de transferência de energia escolhido for DC. Esta mensagem tem a finalidade de verificar se o conector está trancado no lado do EV e se o mesmo está pronto para o carregamento. Para tal, o EVCC envia a mensagem de solicitação (*CableCheckReq*) contendo no seu corpo o estado do EV para carregamento DC. Ao receber esta mensagem, o SECC retribui com a mensagem de resposta (*CableCheckRes*) contendo no seu corpo o estado do EVSE para carregamento DC e a mensagem de processamento do EVSE como é possível observar na Figura 4-25. Esta mensagem segue-se à mensagem V2G *ChargeParameterDiscovery* quando o tipo de carregamento solicitado é DC e é seguida pela mensagem V2G *PreCharge* [14], [16]–[19].





**Figura 4-26** - Mensagem V2G PreCharge

A mensagem V2G *PreCharge* é usada apenas se o modo de transferência de energia escolhido for DC e tem como finalidade ajustar a tensão de saída do EVSE à tensão da bateria do EV. Para tal, o EVCC começa por enviar no corpo da mensagem de solicitação (*PreChargeReq*) o estado, a tensão de carregamento e a corrente de carregamento do EV. O SECC, por sua vez, envia a mensagem de resposta (*PreChargeRes*) contendo no seu corpo o estado e a tensão de carregamento do EVSE como é possível observar na Figura 4-26. Esta mensagem segue-se à mensagem V2G *CableCheck* e é seguida pela mensagem V2G *PowerDelivery* [14], [16]–[19].



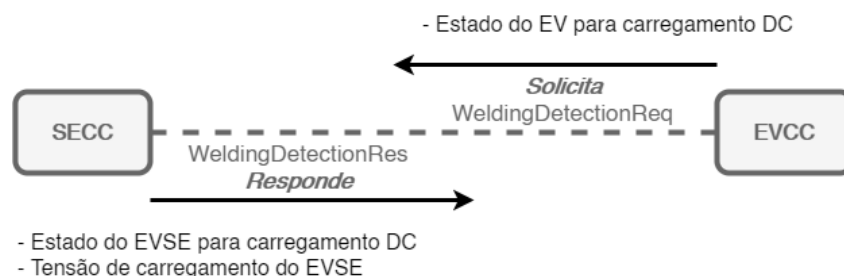
**Figura 4-27 - Mensagem V2G CurrentDemand**

A mensagem V2G *CurrentDemand* é responsável pelo *loop* de carregamento quando o modo de transferência de energia escolhido é DC. O *loop* de carregamento pode ser acompanhado também pela mensagem *MeteringReceipt* se a opção de pagamento for PnC e for requisitado MR. No *loop* de carregamento, o EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (*CurrentDemandReq*). A mensagem de solicitação contém no seu corpo: (1) o estado atual do EV para carregamento DC [DC\_EVStatus], (2) a corrente pretendida para carregamento do EV [EVTargetCurrent], (3) a tensão pretendida para carregamento do EV [EVTargetVoltage], (4) o limite máximo de corrente suportado pelo EV [EVMaximumCurrentLimit], (5) o limite máximo de tensão suportado pelo EV [EVMaximumVoltageLimit], (6) o limite máximo de potência suportado pelo EV [EVMaximumPowerLimit], (7) o indicador de fase de carregamento rápido completo [BulkChargingComplete], (8) o indicador de carregamento completo [ChargingComplete], (9) o tempo restante para o final da fase de carregamento

rápido [RemainingTimeToBulkSoC] e (10) o tempo restante para o carregamento completo [RemainingTimeToFullSoC] (Figura 4-27).

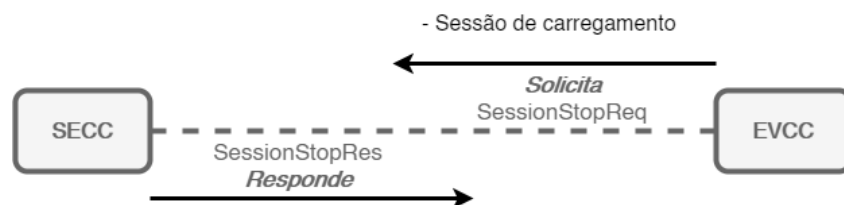
Depois de receber a mensagem de solicitação, o SECC retribui com a mensagem de resposta (*CurrentDemandRes*). A mensagem de resposta contém no seu corpo: (1) o estado atual do EVSE para carregamento DC [DC\_EVSEStatus], (2) a corrente de carregamento do EVSE [EVSEPresentCurrent], (3) a tensão de carregamento do EVSE [EVSEPresentVoltage], (4) o limite máximo de corrente suportado pelo EVSE [EVSEMaximumCurrentLimit], (5) o limite máximo de tensão suportado pelo EVSE [EVSEMaximumVoltageLimit], (6) o limite máximo de potência suportado pelo EVSE [EVSEMaximumPowerLimit], (7) o indicador de corrente máxima de carregamento atingida [EVSECurrentLimitAchieved], (8) o indicador de tensão máxima de carregamento atingida [EVSEVoltageLimitAchieved], (9) o indicador de potência máxima de carregamento atingida [EVSEPowerLimitAchieved], (10) o identificador único do EVSE [EVSEID], (11) o identificador do registo de agendamento do ator secundário e (12) a informação referente ao medidor de energia, como é possível observar na Figura 4-27.

Esta mensagem V2G segue-se: (1) à mensagem V2G *PowerDelivery* quando o tipo de carregamento solicitado é DC, ou (2) à mensagem V2G *MeteringReceipt* quando a opção de pagamento é PnC e é requisitado MR. É seguida: (1) pela mensagem V2G *PowerDelivery* quando é solicitada uma paragem ou renegociação, ou (2) pela mensagem V2G *MeteringReceipt* se a opção de pagamento solicitada for PnC e requisitado MR no *loop* de carregamento [14], [16]–[19].



**Figura 4-28** - Mensagem V2G WeldingDetection

A mensagem V2G *WeldingDetection* é usada apenas se o modo de transferência de energia escolhido for DC e tem como finalidade verificar os contactores do EV no final de cada carregamento. Esta verificação é feita como um mecanismo de segurança para assegurar que os contactos dos contactores do EV não colaram durante a transferência de energia proveniente do carregamento. Para tal, o EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (*WeldingDetectionReq*), contendo no seu corpo o estado atual do EV para carregamento DC (DC\_EVStatus). Por sua vez, o SECC responde com a mensagem (*WeldingDetectionRes*), contendo no seu corpo o estado atual do EVSE para carregamento DC e a tensão de carregamento do EVSE como é possível observar na Figura 4-28. Esta mensagem V2G segue à mensagem V2G *PowerDelivery* quando o tipo de carregamento solicitado é DC e é solicitada uma paragem. É seguida pela mensagem V2G *SessionStop* [14], [16]–[19].

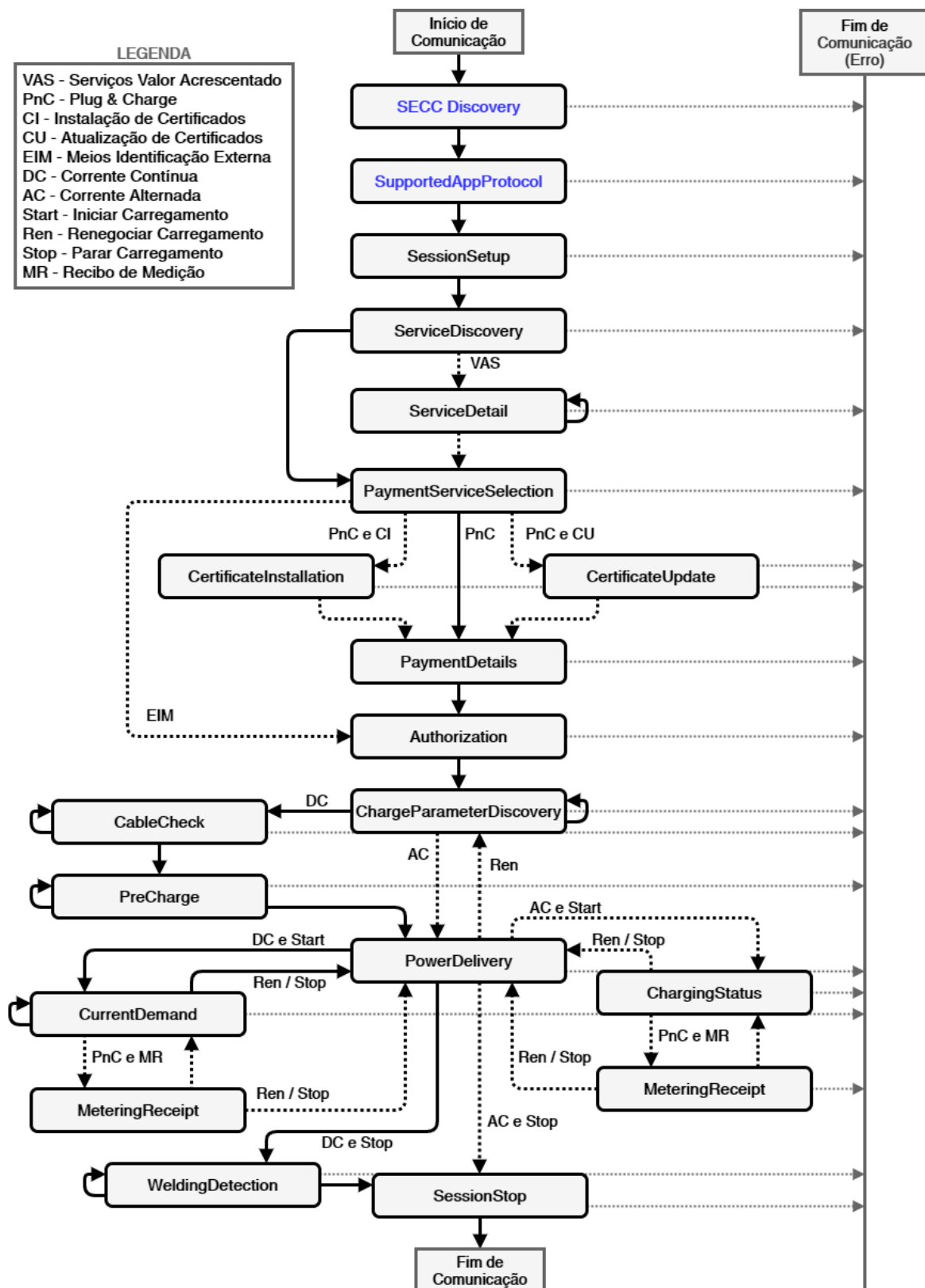


**Figura 4-29** - Mensagem V2G *SessionStop*

A mensagem V2G *SessionStop* é a última mensagem trocada numa sessão de comunicação V2G da ISO 15118. É usada para terminar a sessão de comunicação iniciada pela mensagem V2G *SessionSetup*. De modo a terminar a sessão, o EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (*SessionStopReq*), contendo no seu corpo o parâmetro de sessão de carregamento com o valor “Terminate”, como é possível observar na Figura 4-29. Por sua vez, o SECC retribui com a mensagem de resposta (*SessionStopRes*), contendo no seu corpo o código com o valor “OK”. Depois do EVCC receber o código de resposta por parte do SECC, a sessão de

comunicação V2G da ISO 15118 é terminada. Em casos normais, esta mensagem V2G segue: (1) à mensagem V2G *PowerDeliver* quando o tipo de carregamento solicitado é AC, ou (2) à *WeldingDetection* quando o tipo de carregamento solicitado é DC. Em situações de anomalia, pode seguir-se a qualquer mensagem V2G, durante a sessão de comunicação [16]–[20].

Na Figura 4-30 está representado um fluxograma que foi desenvolvido para facilitar a compreensão de como são utilizados os diferentes tipos de mensagens V2G durante uma sessão de comunicação. Neste fluxograma pode-se observar como os tipos de mensagem V2G fluem em função dos modos de transferência de energia, opções de pagamento, serviços de valor acrescentado e entre outras condições impostas como mencionado anteriormente [14], [16]–[19].



**Figura 4-30** - Fluxograma dos Tipos de Mensagens V2G [18]

#### 4.2.2.3. Mecanismo Plug & Charge

A rede elétrica é uma infraestrutura que necessita ser protegida contra potenciais ataques. Em simultâneo é muitas das vezes requerido ao utilizador pagar pela energia elétrica que foi entregue ao seu EV. Sem uma comunicação segura entre o veículo e o equipamento de carga, as mensagens trocadas podem ser alvo de manipulação. A norma ISO 15118 dispõe de uma característica chamada de Plug & Charge. O PnC implementa vários mecanismos de criptografia de modo a proteger a comunicação e garantir a confidencialidade, integridade e autenticidade de todos os dados trocados. O Plug & Charge também permite ao EV identificar-se junto do equipamento de carga e garantir o acesso autorizado à transferência de energia. O utilizador não necessita de fazer nada mais que ligar o veículo ao equipamento de carga. Para tal, a ISO 15118 descreve um ecossistema de certificados digitais que necessitam de estar em vigor para que o PnC funcione.

No caso da ISO 15118, os certificados usados para autenticar e autorizar o acesso são emitidos para veículos elétricos, equipamento de carga e participantes do mercado essenciais para o processo do PnC, como o Operador do Ponto de Carga (*Charge Point Operator*, CPO).

Para que o equipamento de carga permita que o veículo elétrico carregue a sua bateria, este último necessita apresentar um certificado de contrato válido para autorização do carregamento. Este certificado de contrato está vinculado a uma conta de facturamento por meio de um identificador exclusivo conhecido por identificador de conta de mobilidade elétrica (*e-mobility account identifier*, EMAID). O utilizador, por sua vez, necessita celebrar um contrato com uma operadora de mobilidade elétrica (*e-mobility operator*, EMO), para criar uma conta de facturação. A operadora de mobilidade elétrica, por sua vez, fornece o certificado de contrato ao EV. Após o veículo elétrico apresentar o certificado de contrato ao equipamento de carga e ser autorizado pela operadora de mobilidade elétrica, pode começar a carregar a sua bateria [8], [21].

### 4.2.3. Biblioteca open-source RISE V2G

A biblioteca RISE V2G consiste na implementação de referência do protocolo de comunicação da norma ISO 15118, que pode ser consultada em [22]. A sigla RISE V2G advém de *Reference Implementation Supporting the Evolution of the Vehicle-2-Grid communication interface ISO 15118*, e tem como principal objetivo fornecer uma plataforma para testar a interoperabilidade entre o EV e o EVSE. A RISE V2G consiste assim numa implementação de código aberto, em linguagem JAVA, do protocolo de comunicação entre o controlador de comunicação do veículo elétrico e o controlador de comunicação do equipamento de carga.

Este código oferece a possibilidade de alterar os ficheiros de configuração, tanto do SECC, como do EVCC, de modo a testar vários cenários de implementação para a comunicação digital entre ambos. Estes ficheiros de configuração estão associados a ficheiros JAVA, que serão executados sempre que seja necessário testar as implementações. Do lado do equipamento de carga, no ficheiro de configuração do SECC, podem ser alterados parâmetros como a interface de rede por onde serão trocadas as mensagens, os modos de transferência de energia para carregamento condutivo (AC e/ou DC) suportados (pelo EVSE), as opções de pagamento, entre outros. Do lado do veículo, no ficheiro de configuração do EVCC, também podem ser alterados parâmetros como a interface de rede por onde serão trocadas mensagens, os modos de transferência de energia suportados (neste caso aplicado ao EV), entre outros.

Visto que este software permite implementar o sistema Plug & Charge, é necessário trocar certificados digitais que estão instalados no lado do equipamento de carga e no lado do veículo elétrico. De forma a resolver este requisito, o software também gera os certificados necessários para que a implementação do sistema PnC funcione plenamente.

Os controladores de comunicação podem ser implementados através desta biblioteca de duas formas. A primeira é com recurso à interface *loopback* da placa



de rede de um único computador. Esta interface permite que as duas entidades (SECC e EVCC), implementadas separadamente, sejam executadas e troquem mensagens na mesma máquina. A segunda consiste em implementar o SECC e o EVCC em máquinas separadas e ainda assim atingir a interoperabilidade entre eles.

Num carregamento com comunicação através de mensagens V2G, enquanto o veículo elétrico carrega a sua bateria, os controladores de comunicação devem trocar as mensagens V2G referentes ao *loop* de carregamento durante um determinado período. Este período deve corresponder ao tempo que a bateria demora a carregar. Então, os controladores de comunicação devem trocar as mensagens V2G referentes ao *loop* em função do tempo de carregamento. Na biblioteca isto não se verifica. Esta apenas permite simular a comunicação durante o carregamento em função do número de *loops* e não em função do tempo.

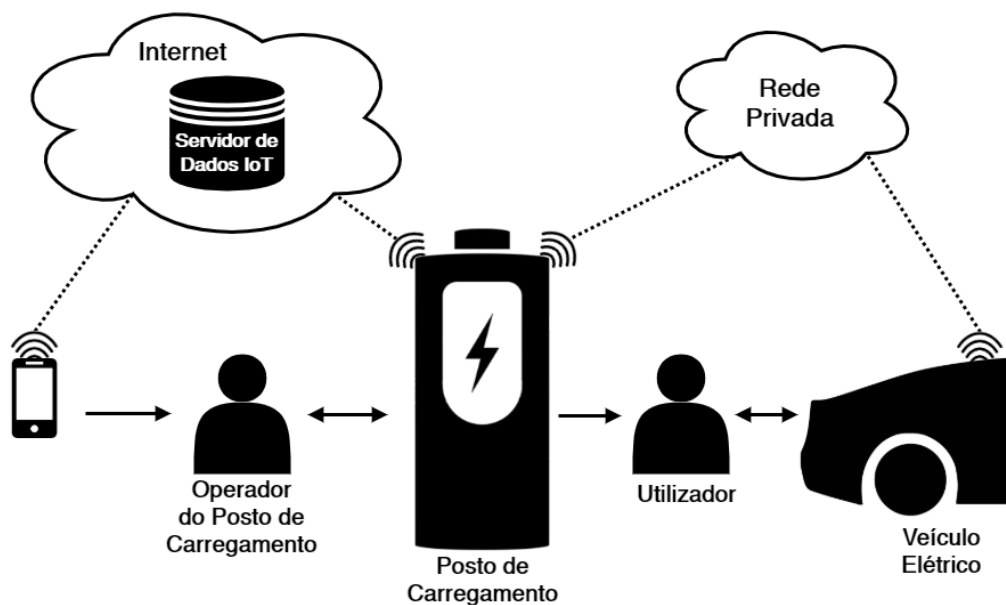
Embora a biblioteca RISE V2G implemente uma comunicação através de mensagens V2G segundo a ISO 15118, os parâmetros trocados no corpo das mensagens V2G permanecem estáticos durante a sessão de comunicação. Ou seja, se por exemplo, no início do carregamento o valor do estado de carga da bateria do EV for igual a 50%, no final do mesmo carregamento o valor continuará sendo os 50%. Os parâmetros do protocolo de comunicação segundo a ISO 15118, que esta biblioteca permite manipular, são descritos na próxima secção.

Em suma, antes de iniciar a sessão de comunicação, são configurados os parâmetros que esta biblioteca permite trocar e é introduzido o número de *loops* de carregamento que são pretendidos simular. Em seguida a sessão de comunicação é realizada, terminando alguns segundos depois, com sucesso. Posteriormente são apresentadas todas as mensagens trocadas nestes segundos pelos controladores de comunicação na consola do Netbeans IDE. Ao observá-las é possível concluir que os valores dos parâmetros introduzidos antes do início da sessão de comunicação permanecem os mesmos.

A biblioteca RISE V2G foi adaptada e utilizada no sistema de comunicação desenvolvido neste trabalho de investigação, onde foram contornados alguns dos comportamentos apontados anteriormente.

#### 4.2.4. Desenvolvimento e Emulação do Sistema de Comunicação

Depois do estudo da norma e de analisada uma solução para a sua implementação, o próximo passo consistiu no desenvolvimento do sistema de comunicação entre o equipamento de carga e o veículo elétrico. A Figura 4-31 apresenta o esquema geral do sistema a implementar que compreende o as trocas de informação acerca do carregamento entre o veículo elétrico, o equipamento de carga, o utilizador do veículo elétrico e o operador do ponto de carga.



**Figura 4-31** - Esquema Geral do Sistema de Comunicação

##### 4.2.4.1. Caracterização

O principal objetivo do sistema de comunicação é monitorizar e gerir os principais parâmetros trocados durante o processo de carga, de acordo com o protocolo de

comunicação digital ISO 15118, por meio da biblioteca *open-source* RISE V2G. De acordo com a terceira parte da norma ISO 15118 (ISO 15118-3), a comunicação é realizada através do PLC sobreposto na linha do CP. Embora a biblioteca RISE V2G não implemente as camadas Física e de Ligação de Dados da norma ISO 15118, utiliza como recurso para comunicar a interface de rede da máquina na qual está instalada. Assim, neste sistema, a comunicação é realizada através da interface de rede wireless, tendo o Wi-Fi como meio de comunicação.

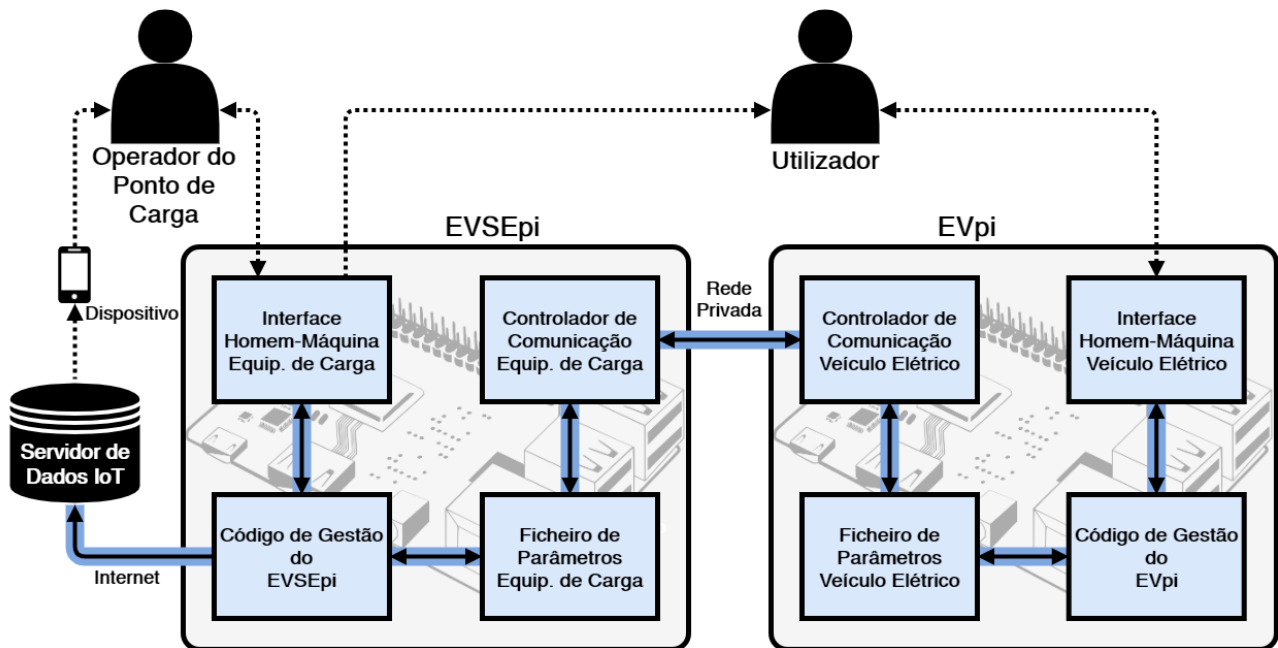
Embora nesta fase de testes não exista transferência de energia prática no sistema, é necessário adotar um modo de transferência de energia para simular a comunicação através das mensagens V2G correspondentes. Assim, foi escolhido como modo de transferência de energia apenas DC, pois o número de parâmetros trocados entre o equipamento de carga e o veículo neste modo é mais amplo, o que permite uma melhor gestão de carga. Para opção de pagamento foi escolhido a validação por certificados (PnC), pois já está implementado na biblioteca RISE V2G e oferece maior segurança ao sistema. Considerando essa caracterização, quando o sistema inicia uma sessão de comunicação, ele segue o fluxograma de mensagens V2G representado na linha preta contínua na Figura 4-30.

Este sistema também tem a particularidade de enviar dados relativos ao processo de carregamento para um servidor de dados da Internet of Things (IoT). Nesse caso, os dados de carregamento são enviados para uma aplicação web *open-source*, dedicada ao armazenamento e visualização dos dados de energia.

#### 4.2.4.2. Arquitetura

O sistema de comunicação implementado está dividido em dois blocos principais (EVSEpi e EVpi) representados na Figura 4-32. Cada bloco foi implementado num Raspberry Pi 3 - Modelo B. No lado do veículo elétrico temos o EVpi e no lado do equipamento de carga temos o EVSEpi. Cada um destes blocos está dividido em quatro sub-blocos, que utilizam o mesmo princípio de comunicação, nomeadamente

o controlador de comunicação, o ficheiro de parâmetros, o código de gestão e a Interface Homem-Máquina (*Human-Machine Interface*, HMI), conforme a Figura 4-32.



**Figura 4-32** - Arquitetura do Sistema de Comunicação

Assim, o bloco EVpi é composto pelo EVCC, o ficheiro de parâmetros do EV, o código de gestão do EVpi e a HMI do EV conforme representado no lado direito da Figura 4-32. No lado esquerdo da mesma figura, o bloco EVSEpi é composto pelo SECC, o ficheiro de parâmetros EVSE, o código de gestão do EVSEpi e a HMI do EVSE. Juntos, estes oito sub-blocos, permitem a implementação do sistema de comunicação de acordo com mensagens V2G. Em seguida serão descritos estes sub-blocos.

#### 4.2.4.3. Controladores de Comunicação

Os controladores de comunicação de ambos os blocos visam estabelecer a sessão de comunicação, via IP, para possibilitar a troca dinâmica de parâmetros de

carregamento no sistema. Sendo que a biblioteca RISE V2G permite apenas a troca de parâmetros de carregamento estáticos, para superar esta adversidade, primeiramente foram selecionados os parâmetros mais relevantes utilizados durante uma sessão de comunicação para o modo de transferência de energia DC. Estes parâmetros, no código da biblioteca, foram alterados de estáticos para um valor que é obtido de uma linha específica do ficheiro de parâmetros do respetivo bloco. Ou seja, cada vez que os controladores de comunicação acedem a um parâmetro, ao invés de acederem diretamente ao valor de uma variável no código-fonte da biblioteca, obtêm o valor de uma linha pré-definida no respetivo ficheiro de parâmetros. Esta linha pré-definida contém o valor do parâmetro que o controlador de comunicação deseja aceder, que é atualizado com uma periodicidade de 5 segundos pelo código de gestão do respetivo bloco. Estes controladores de comunicação são controlados pelo código de gestão do respetivo bloco e possuem um ficheiro de log associado, que armazena os seus registos de comunicação individualmente.

No âmbito deste artigo, e durante a sessão de comunicação, o EVCC permite manipular os seguintes parâmetros relacionados com o veículo elétrico e o modo de transferência de energia DC: (1) o identificador do EVCC [EVCCID], (2) os limites máximos de corrente, tensão e potência suportados pelo EV [EVMaximumCurrentLimit, EVMaximumVoltageLimit e EVMaximumPowerLimit], (3) o SoC EV [EVRESSOC], (4) a quantidade de energia solicitada pelo EV [EVEnergyRequest], (5) o progresso da carga [ChargeProgress], (6) a corrente e tensão pretendida pelo EV [EVTargetCurrent e EVTargetVoltage], (7) o tempo restante para o processo de carregamento rápido [RemainingTimeToBulkSoC], (8) o tempo restante para o carregamento completo [RemainingTimeToFullSoC] e (9) os indicadores de carregamento [BulkChargingComplete e ChargingComplete]. Por outro lado, o SECC permite manipular: (1) o identificador da sessão de comunicação [SessionID], (2) o identificador do EVSE [EVSEID], (3) a marca temporal do EVSE [EVSETimeStamp], (4) os limites máximos de corrente, tensão e potência

suportados pelo EVSE [EVSEMaximumCurrentLimit, EVSEMaximumVoltageLimit e EVSEMaximumPowerLimit], (5) os limites mínimos de corrente e tensão suportados pelo EVSE [EVSEMinimumCurrentLimit e EVSEMinimumVoltageLimit], e (6) a corrente e tensão presentes no EVSE [EVSEPresentCurrent e EVSEPresentVoltage].

#### *4.2.4.4. Ficheiros de Parâmetros*

O principal objetivo do ficheiro de parâmetros é servir de intermediário entre o controlador de comunicação e o código de gestão do respetivo bloco. Cada ficheiro possui sua respetiva lista de registos de parâmetros, onde cada parâmetro ocupa uma posição pré-definida. Cada parâmetro guardado nesta lista de registos tem sua respetiva unidade e tipo. Esta classificação é importante porque os controladores de comunicação, implementados através da biblioteca RISE V2G, só permitem a troca de parâmetros se estes estiverem de acordo com uma unidade específica e, mais importante, com seu tipo específico de variável. Portanto, estes parâmetros devem manter o mesmo nome, unidade e tipo, tanto no lado do código de gestão quanto no lado do controlador de comunicação. Por ser um arquivo de texto ASCII, todos os parâmetros quando guardados no ficheiro de parâmetros são convertidos do seu tipo de variável para o tipo String, e quando lidos, convertidos do tipo String para seu respetivo tipo.

Além dos parâmetros do protocolo de comunicação da ISO 15118, a lista de registo do ficheiro de parâmetros também contém indicadores de interação locais (*flags*) para que o controlador de comunicação e o código de gestão do mesmo bloco possam estar sincronizados. O ficheiro de parâmetros do veículo tem a particularidade de conter, além dos parâmetros do protocolo de comunicação da ISO 15118 que a biblioteca RISE V2G nos fornece, os indicadores de início e fim do EVCC. Por outro lado, o ficheiro de parâmetros do equipamento de carga, tem o

indicador de início do SECC. Estas *flags* são do tipo booleano e seu valor inicial é sempre “false”.

#### 4.2.4.5. Códigos de Gestão

Os códigos de gestão foram desenvolvidos na linguagem de programação JAVA e o seu objetivo no geral consiste em controlar o processo de carregamento, o controlador de comunicação e as informações processadas na HMI do respetivo bloco. Cada código de gestão é implementado de acordo com a sua respetiva Máquina de Estados Finitos (*Finite State Machine*, FSM), sendo cada um dos estados responsável por um determinado conjunto de tarefas do respetivo código.

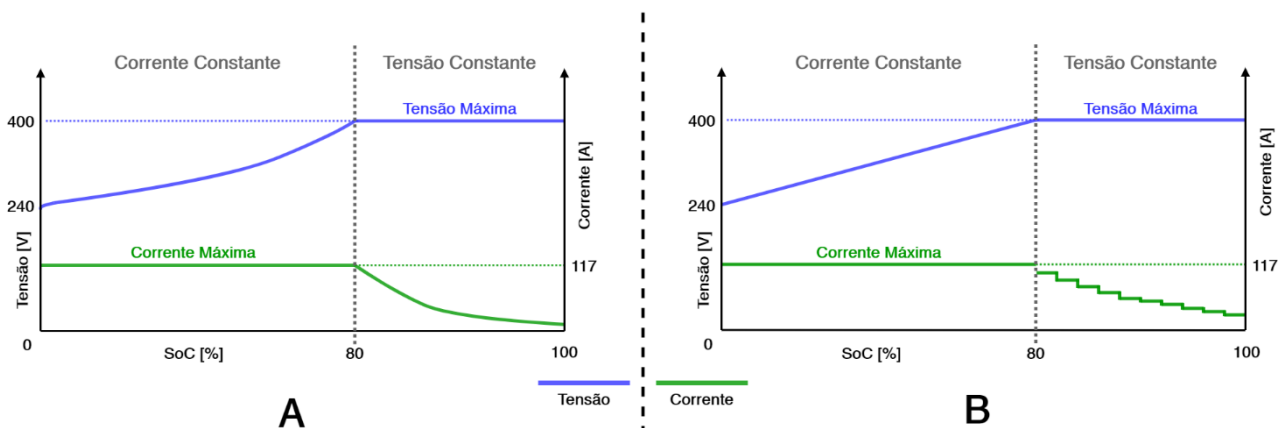
Considerando o bloco do EV, um dos principais objetivos do código de gestão do EVpi é controlar o processo de carregamento da bateria do veículo. O sistema de comunicação desenvolvido permite implementar baterias com características diferentes no código de gestão EVpi, porém, nesta fase de testes foi implementada uma bateria de iões de lítio virtual com as características da Tabela 4.6. A implementação desta bateria virtual serve apenas para emular o funcionamento típico de um processo de carregamento EV, gerando as curvas correspondentes e aproximando o sistema desenvolvido de um processo de carregamento real. Assim, alguns comportamentos influentes, como temperatura e o balanceamento de células da bateria, foram deixados de lado.

**Tabela 4.6** - Parâmetros de Carregamento da Bateria Virtual do EV

| Capacidade Total | Corrente Máxima | Tensão Máxima | Tensão Mínima | Tensão Nominal |
|------------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|
| 235 Ah           | 117 A           | 400 V         | 240 V         | 350 V          |

Para controlar o carregamento da bateria virtual de iões de lítio, é necessário entender as técnicas de carregamento de Corrente Constante (*Constant Current*, CC) e Tensão Constante (*Constant Voltage*, CV). A estratégia CC-CV consiste em dividir o processo de carregamento em duas técnicas. Quando uma bateria de iões

de lítio tem uma tensão abaixo da tensão máxima de carga, a técnica de carregamento CC é aplicada. Esta fase do processo de carga é chamada de fase de carregamento rápido. Nesta técnica, a bateria é carregada com corrente constante, não excedendo a corrente máxima permitida, enquanto a tensão da bateria aumenta gradualmente. Quando a tensão da bateria iguala a tensão máxima de carga, a transição da técnica de carregamento CC para a técnica CV é feita. Esta fase é chamada de fase de carregamento lento. Nesta segunda técnica de carregamento, a tensão da bateria permanece constante enquanto a corrente desce com o tempo, até que o final do carregamento seja alcançado. O gráfico A da Figura 4-33 ilustra o comportamento da tensão e da corrente durante uma carga completa de uma bateria de íões de lítio, ao longo do tempo, e usando a estratégia de carregamento CC-CV [14], [15].



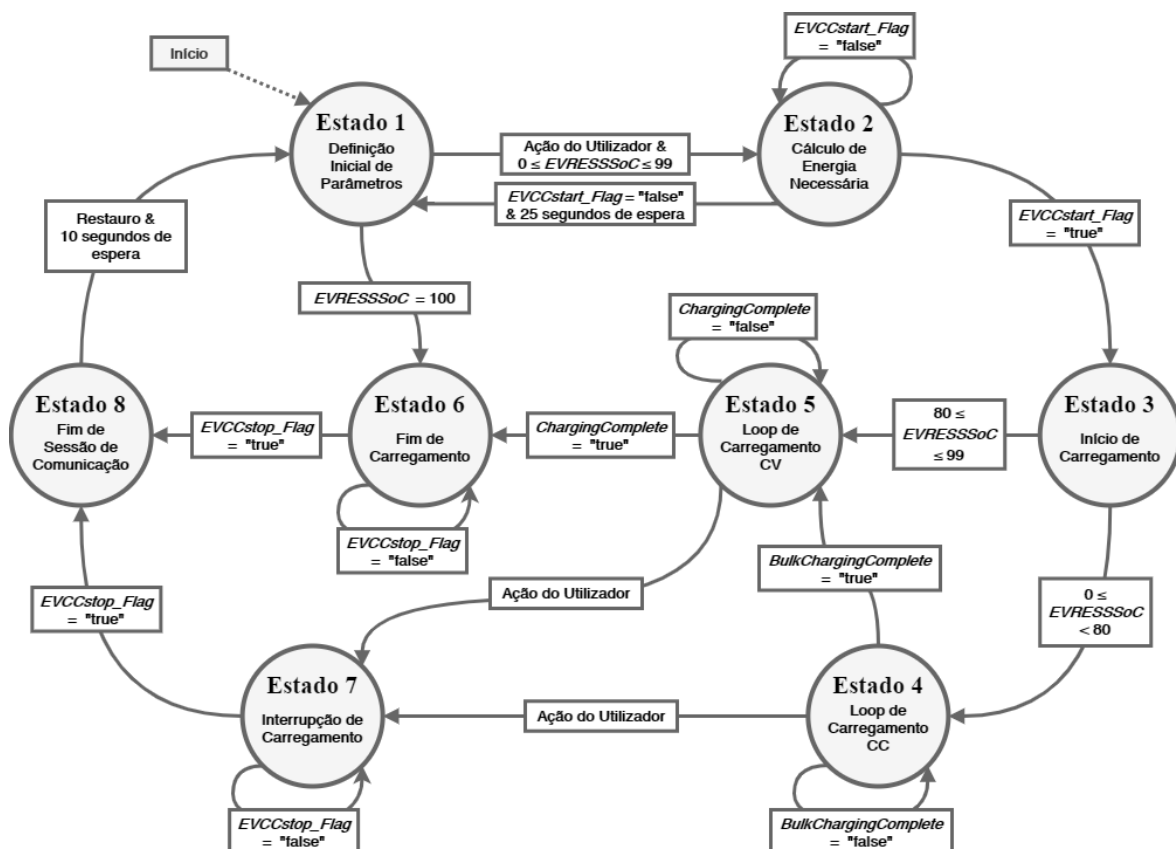
**Figura 4-33 - Gráficos das Técnicas de Carregamento CC e CV**

Para implementar um comportamento semelhante a esta estratégia de carregamento no código de gestão do EVpi, foram realizadas as seguintes aproximações: (1) Foi definido que a transição da técnica de carregamento CC para a técnica CV é realizada quando a bateria do EV alcança 80% do seu SoC. Nesse exato momento, a tensão atinge o seu valor máximo de carga e a corrente começa a descer. Basicamente, a técnica de carregamento CC é usada de 0% a 79% e a técnica de carregamento CV de 80% a 100% do SoC da bateria do veículo. (2) Assume-se que a curva de tensão na técnica de carregamento CC é linear (ou seja,



pode ser aproximada a uma linha reta), com a exceção de que embora não represente a realidade, serve como demonstração no processo de comunicação do valor da tensão. (3) Foi definido que a curva da corrente na técnica de carregamento CV também é aproximada, mas neste caso é usada outra abordagem. O intervalo [80% - 100%] do SoC é dividido em 10 sub-intervalos, onde cada sub-intervalo é representado por 2% do SoC da bateria. Assim, a corrente máxima é multiplicada por um coeficiente correspondente a esses mesmo sub-intervalos, o que resulta na diminuição da corrente, na forma de um degrau, enquanto o SoC da bateria aumenta. Ao implementar estas aproximações, o comportamento da corrente e da tensão durante o processo de carregamento da bateria virtual do veículo deve seguir a representação apresentada no gráfico B da Figura 4-33.

O código de gestão do EVpi implementa uma FSM, constituída por oito estados, conforme mostrado no diagrama representado na Figura 4-34 e descrito em seguida.



**Figura 4-34** - Diagrama de Estados do Código de Gestão do EVpi

#### *4.2.4.5.1. Estado 1 do EVpi*

Denominado Definição Inicial de Parâmetros, neste primeiro estado o utilizador do veículo começa por definir, através da HMI do EV, o valor dos limites máximos de corrente e tensão suportados pelo veículo. O utilizador também pode definir qual o valor do SoC com que o EV inicia a emulação de carga. O código de gestão EVpi, neste estado apenas é responsável por aceitar os valores dos parâmetros introduzidos. Para obter uma emulação de carga mais realista, os valores introduzidos devem estar de acordo com os valores da bateria virtual implementados no código (Tabela 4.6). Assim que os parâmetros iniciais forem definidos e confirmados pelo utilizador, através do HMI do EV, o código de gestão do EVpi transita de estado. Se a bateria do veículo estiver totalmente carregada (SoC = 100%), o código de gestão do EVpi transita para o estado 6. Já se a bateria do veículo necessitar de carga, o código transita para o estado 2.

#### *4.2.4.5.2. Estado 2 do EVpi*

Denominado Cálculo de Energia Necessária, o código de gestão do EVpi neste segundo estado calcula a quantidade de energia necessária para carregar a bateria do veículo a 100% (SoC = 100%) e, em seguida, dá a ordem ao EVCC para iniciar a sessão de comunicação. Através do indicador de início do EVCC, o código de gestão verifica se o EVCC foi capaz de estabelecer a sessão de comunicação com o SECC. Em caso de sucesso, o código de gestão do EVpi transita para o estado 3. Caso contrário, se o EVCC não estabelecer comunicação com o SECC após 25 segundos, o código de gestão do EVpi volta para o estado 1.

#### *4.2.4.5.3. Estado 3 do EVpi*

Denominado de Início de Carregamento, neste estado os parâmetros de carregamento são alterados antes de haver transferência de energia para a bateria

do EV. Em outras palavras, o código de gestão do EVpi envia os parâmetros relativos ao carregamento do veículo para seu próprio controlador de comunicação. Através do EVCC, o código de gestão do lado do veículo também recebe os parâmetros de carregamento do EVSE. Os parâmetros enviados pelo EVCC para o SECC são: (1) O identificador do EVCC, (2) os limites máximos de corrente e tensão suportados pelo EV e (3) o SoC do EV. Os parâmetros recebidos pelo EVCC por parte do SECC são: (1) o identificador da sessão de comunicação, (2) o identificador do EVSE, (3) os limites máximos de corrente, tensão e potência suportados pelo EVSE e (4) os limites mínimos de corrente e tensão suportados pelo EVSE. Após esta troca, são estabelecidos os limites de corrente, tensão e potência para o carregamento, de forma a não comprometer o veículo elétrico ou o equipamento de carga. Uma vez que esses limites são estabelecidos, é iniciada a transferência de energia, através do envio do valor “Start” através do parâmetro de progresso de carga [ChargingProgress]. E por fim dá-se uma mudança do estado 3 para o estado 4 se o SoC do veículo for inferior a 80%, ou do estado 3 para o estado 5 se o SoC for superior ou igual a 80%. Essa mudança de estado dependente do SoC deve-se ao uso das diferentes técnicas de carregamento usadas em cada um dos próximos estados.

#### *4.2.4.5.4. Estados 4 e 5 do EVpi*

Denominados de Loop de Carregamento CC e Loop de carregamento CV, estes estados representam os *loops* onde existe transferência de energia para a bateria do veículo de acordo com as técnicas de carregamento de CC e CV. Nestes estados, o código de gestão do EVpi define os valores alvo de corrente e tensão para carregar a bateria EV de acordo com a respetiva técnica de carregamento. Os valores da corrente e tensão necessários para carregar a bateria do EV são enviados para o SECC, via EVCC, para que o equipamento de carga possa atender às necessidades do veículo. Nestes estados, também são estabelecidos e atualizados os valores do

tempo restante para o carregamento completo e do SoC do EV, considerando os valores da corrente e da tensão presentes no EVSE enviados pelo equipamento de carga através dos controladores de comunicação. Enquanto o código de gestão do EVpi permanece num destes dois estados, os parâmetros mencionados acima estão em constante atualização, com uma periodicidade de 5 segundos. A transição destes estados pode ser realizada de duas formas diferentes, que são através da ação do utilizador do EV, coim recurso à HMI do veículo, ou por verificação do SoC do veículo. Ao usar a ação do utilizador, ambos os estados (4 e 5) transitam para o estado 7. Esta ação do utilizador dá-se quando este pressiona o botão de paragem de carregamento presente na HMI do veículo. Para a transição através de verificação do SoC do veículo, existem situações diferentes para cada um destes dois estados. No estado 4, quando o SoC do veículo atinge 80%, o valor do indicador de carregamento rápido é alterado para o valor lógico “true” e o código de gestão do EVpi transita para o estado 5. Isto ocorre porque a técnica de carregamento é alterada de corrente constante para a técnica tensão constante. No estado 5, quando o SoC do veículo atinge 100%, o valor do indicador de carregamento completo é alterado para o valor lógico “true” e o código de gestão do EVpi transita para o estado 6.

#### *4.2.4.5.5. Estados 6 e 7 do EVpi*

Denominado de Fim de Carregamento e Interrupção de Carregamento, estes estados representam o último *loop* de carregamento de 5 segundos e, consequentemente, a paragem do carregamento. No estado 6 esta paragem deve-se ao carregamento total da bateria do veículo, enquanto no estado 7 a paragem deve-se à interrupção do processo de carregamento pelo utilizador do veículo. Nestes estados, o código de gestão do EVpi é responsável por definir os valores da corrente e tensão pretendidos pelo EV para zero, bem como o valor do parâmetro progresso de carga para “Stop”. Através do parâmetro progresso de carga, o EVCC

informa ao SECC que uma foi solicitada uma paragem de carregamento, encerrando assim a troca da mensagem V2G relativa ao *loop* de carregamento e iniciando a troca de mensagens V2G responsáveis pelo término da sessão de comunicação. Uma vez que a sessão de comunicação é encerrada, o código de gestão do EVpi altera o indicador de fim do EVCC para o valor lógico “true” e transita para o estado 8.

#### *4.2.4.5.6. Estado 8 do EVpi*

Denominado de Fim de Sessão de Comunicação, a principal tarefa do código de gestão do EVpi neste estado é atualizar todas as suas variáveis para seus valores iniciais e encerrar os processos que foram iniciados durante a sessão de comunicação anterior, para que uma nova sessão de comunicação possa ser iniciada. Após esta atualização, o código de gestão aguarda 10 segundos e transita para o seu estado inicial (estado 1), onde uma nova sessão de comunicação pode ser iniciada.

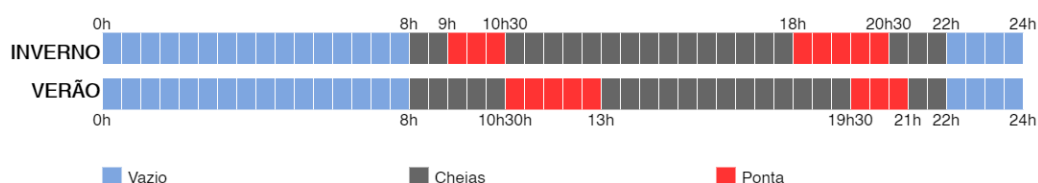
Passando para o código de gestão do EVSEpi, o seu principal objetivo é gerir o processo de carregamento do equipamento de carga. Para isso, é necessário ter acesso aos valores dos limites de tensão e corrente. Numa situação real, estes valores são limitados pela rede elétrica, ou pela bateria (caso não haja ligação à rede elétrica). Nesta fase em que o sistema de comunicação ainda não se encontra aplicado a uma situação real de carregamento, estes limites são estabelecidos pelo CPO, através da HMI do EVSE. O código de gestão do EVSEpi também é responsável por calcular a energia transferida em cada carregamento e aplicar as devidas tarifas de energia, assim como enviar a informação relativa ao carregamento para um servidor de dados IoT. Para o cálculo de tarifas, o sistema utiliza como suporte os preços praticados por um fornecedor de energia [16]. Essas tarifas são do tipo tri-horário de ciclo diário, onde o utilizador paga a energia em três preços

distintos, e onde cada preço corresponde a um período de tempo. Estes três períodos de tempo são denominados: (1) horas de vazio, em que a energia tem um custo menor, (2) horas de ponta, em que a eletricidade tem o maior custo, e (3) horas cheias, onde a energia tem um custo intermédio entre os períodos de horas de vazio e horas de ponta. Na Tabela 4.7, estão representados os custos de energia elétrica por kWh para cada um destes períodos.

**Tabela 4.7 - Tarifas Tri-Horárias Aplicadas (€/kWh)**

| Vazio  | Cheias | Ponta  |
|--------|--------|--------|
| 0,1575 | 0,2289 | 0,2377 |

Como a tarifa é de ciclo diário, os períodos são agregados ao longo de um dia do ano. Existem dois ciclos diários, nos quais esta agregação é realizada de forma distinta, o ciclo diário de inverno e o ciclo diário de verão, representados na Figura 4-35.

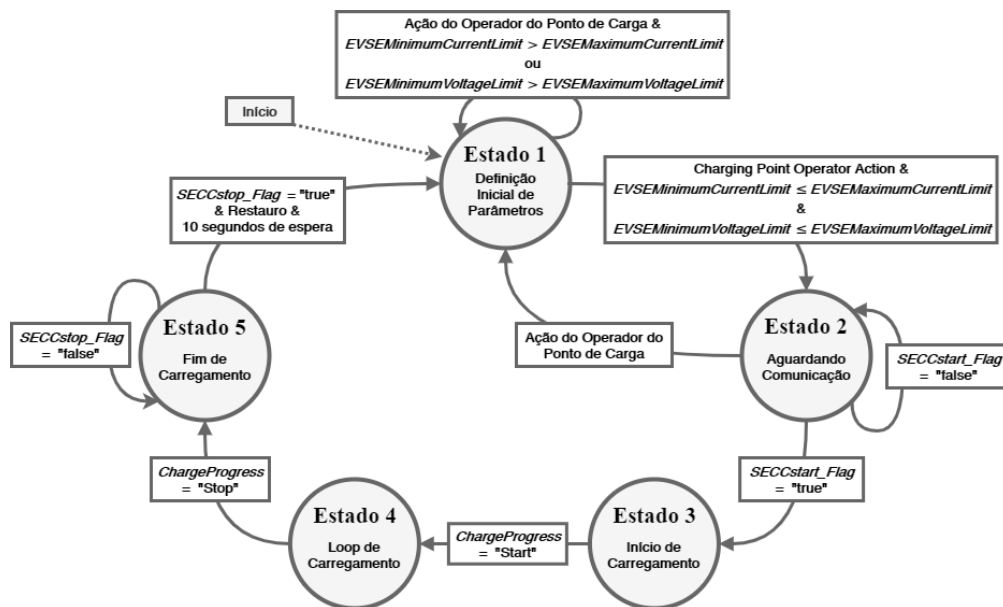


**Figura 4-35 - Ciclo de Tarifas Diárias**

O servidor de dados IoT utilizado neste sistema é o Emoncms [17], onde é possível gerar gráficos dos parâmetros de carregamento ao longo do tempo. Estes gráficos temporais são extremamente importantes para o CPO, pois assim todas as informações que foram e/ou estão sendo processadas durante os carregamentos podem monitorizadas. Os parâmetros monitorizados neste sistema são: (1) a corrente, tensão e potência presentes no EVSE, (2) os limites máximos de corrente, tensão e potência suportados pelo EVSE, (3) os limites mínimos de corrente e tensão suportados pelo EVSE, (4) o SoC do EV, (5) a energia transferida durante o

carregamento, (6) o custo da energia de carregamento e (7) o período horário da tarifa.

O código de gestão do EVSEpi implementa uma FSM constituída por 5 estados, conforme mostrado no diagrama da Figura 4-36. Estes estados são descritos em seguida.



**Figura 4-36** - Diagrama de Estados do Código de Gestão do EVSEpi

#### 4.2.4.5.7. Estado 1 do EVSEpi

Denominado de Definição Inicial de Parâmetros, neste estado inicial o CPO começa por definir, através da HMI do equipamento de carga, os valores dos limites máximos e mínimos de corrente e tensão suportados pelo EVSE. Uma vez que os parâmetros iniciais tenham sido definidos, e após o operador dar indicação através da HMI, o código de gestão do EVSEpi faz uma verificação aos valores introduzidos antes de alterar de estado. Sempre que os valores dos limites mínimos definidos forem superiores aos valores dos limites máximos definidos, o código de gestão do EVSEpi permanece no primeiro estado e solicita uma nova definição inicial de parâmetros ao CPO. Caso contrário, transita para o estado 2.

#### *4.2.4.5.8. Estado 2 do EVSEpi*

Denominado de Aguardando Comunicação, neste estado o código de gestão do EVSEpi ativa o SECC para que este aguarde uma ligação proveniente de um EVCC. Se uma nova sessão de comunicação for detetada, o SECC informa o código de gestão do EVSEpi através da alteração do indicador de início do SECC para o valor “true”, transitando assim para o estado 3. O código de gestão do EVSEpi pode ficar neste segundo estado por um período indeterminado de tempo se uma nova sessão de comunicação não for estabelecida. Assim, o CPO tem a opção de fazer com que o código de gestão volte ao seu estado inicial (estado 1), podendo interromper a espera por uma nova sessão de comunicação através de um botão de paragem presente na HMI do EVSE.

#### *4.2.4.5.9. Estado 3 do EVSEpi*

Denominado de Início de Carregamento, este estado utiliza o mesmo princípio do estado 3 do EVpi, em que os parâmetros de carregamento são trocados antes de se dar a transferência de energia. Assim, neste estado, o código de gestão do EVSEpi envia os parâmetros do equipamento de carga ao seu controlador de comunicação, e recebe através do mesmo, os parâmetros do veículo. Os parâmetros enviados pelo SECC para o EVCC são: (1) O identificador da sessão de comunicação, (2) o identificador do EVSE, (3) os limites máximos de corrente, tensão e potência suportados pelo EVSE e (4) os limites mínimos de corrente e tensão suportados pelo EVSE. Os parâmetros recebidos pelo SECC por parte do EVCC são: (1) O identificador do EVCC, (2) os limites máximos de corrente e tensão suportados pelo EV e (3) o SoC do EV. Em seguida, são estabelecidos os limites de corrente, tensão e potência para o carregamento, bem como o período horário da tarifa e o seu custo associado. Depois disso, o código de gestão do EVSEpi envia as informações processadas para o servidor de dados IoT. Depois de realizar este conjunto de tarefas, o código de gestão do EVSEpi verifica o valor do parâmetro de progresso



de carga. Se o valor for “Start”, dá-se o início à troca das mensagens V2G relacionadas com o *loop* de carregamento, e consequentemente a transição do código de gestão do EVSEpi para o estado 4.

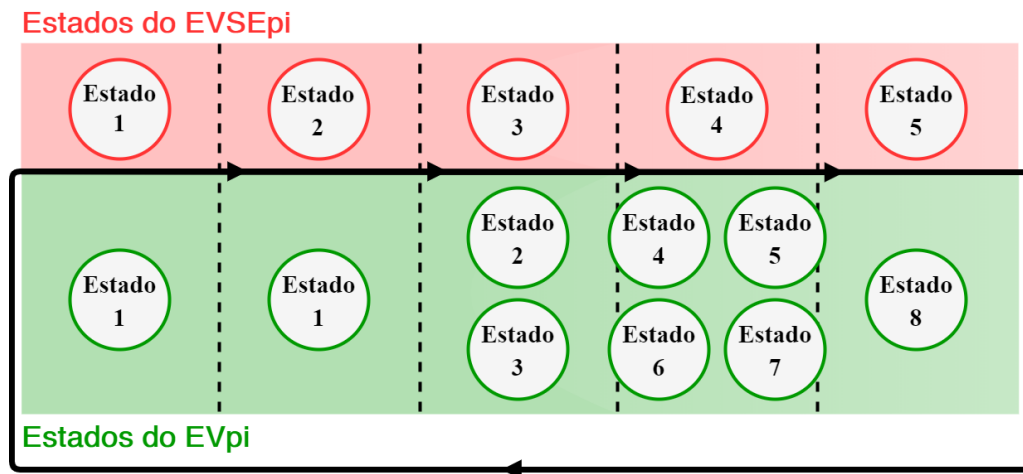
#### *4.2.4.5.10. Estado 4 do EVSEpi*

Denominado de Loop de Carregamento, neste estado o código de gestão do EVSEpi obtém os valores do tempo restante para o carregamento completo, a corrente e a tensão pretendida para carregar o EV e o SoC do mesmo. Assim, o código estabelece os valores da corrente e tensão presentes do EVSE considerando a disponibilidade da rede elétrica ou sistema de geração renovável mais baterias. O código de gestão do EVSEpi neste estado ainda estabelece valores de parâmetros que não fazem parte do protocolo de comunicação da ISO 15118, como a potência presente do EVSE, a energia utilizada para o carregamento e o custo associado a essa energia. Estes parâmetros são definidos e atualizados tendo em conta a duração do ciclo de carregamento (5 segundos). No estado 4, o código de gestão do EVSEpi ainda é responsável por enviar as informações de carregamento para o servidor de dados IoT. Estas informações são enviadas com uma periodicidade de 1 minuto, ou seja, a cada 12 ciclos de carregamento. O código de gestão do EVSEpi transita para o próximo estado (estado 5) somente quando o carregamento termina. Ou seja, quando o parâmetro de progresso de carga apresenta o valor “Stop”, seja por carregamento completo ou paragem por ação do utilizador do EV.

#### *4.2.4.5.11. Estado 5 do EVSEpi*

Neste estado, denominado Fim de Carregamento, o código de gestão do EVSEpi garante que os valores presentes de corrente, tensão e potência do EVSE sejam zero. Depois, a conexão entre os controladores de comunicação é finalizada e as informações finais sobre o carregamento são enviados pela última vez para o servidor de dados IoT. Finalmente, o código de gestão do EVSEpi verifica o valor do

indicador de fim do SECC para descobrir se a sessão de comunicação foi realmente concluída. Terminada a sessão de comunicação, atualiza as suas variáveis para o valor inicial, aguarda 10 segundos e volta ao estado inicial (estado 1).



**Figura 4-37** - Conjugação de Estados dos Códigos de Gestão do EVpi e EVSEpi

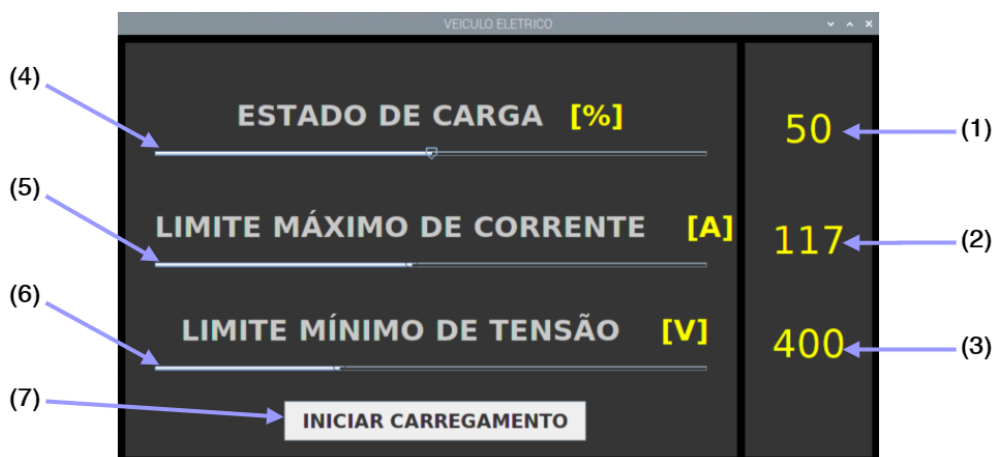
No diagrama da Figura 4-37 está representado a forma como os estados de cada bloco (EVpi e EVSEpi) se combinam para fazer o sistema de comunicação funcionar. Durante a operação do sistema, cada estado do EVSEpi está relacionado a um ou mais estados do EVpi. No entanto, cada estado do EVSEpi apenas pode ser relacionado a um único estado do EVpi de cada vez. Por exemplo, o estado 4 do EVSEpi está relacionado aos estados 4, 5, 6 e 7 do EVpi, mas para o sistema funcionar, o estado 4 apenas pode ser combinado com um destes quatro estados do EVpi. Portanto, no caso em que o veículo carrega de acordo com a técnica de carregamento CC, o EVpi deve estar no estado 4 e combinar com o estado 4 do EVSEpi.

Deve-se observar que para que o sistema funcione corretamente, o código de gestão EVSEpi deve estar no estado 2 antes que o código de gestão do EVpi transite do estado 1 para o estado 2, conforme mostrado na representação da Figura 4-37.

#### 4.2.4.6. Interfaces Homem-Máquina

As interfaces homem-máquina permitem definir os valores limites de tensão e corrente suportados por cada máquina (EV e EVSE) antes do início da sessão de comunicação. Desta forma, o sistema de comunicação permite que diferentes cenários de carregamento sejam emulados nesta fase de testes. Estas interfaces também fornecem as informações relativas ao carregamento, que são atualizadas com uma periodicidade de 5 segundos. Os seus respetivos códigos-fonte foram desenvolvidos em linguagem de programação JAVA, com o auxílio da ferramenta de graphical user interface (GUI) Swing do Netbeans IDE, e são controlados pelos respetivos códigos de gestão de cada máquina. A seguir, essas interfaces são descritas de acordo com seu bloco (EVpi e EVSEpi). Em seguida são descritas as tarefas associadas aos estados de cada bloco através das representações gráficas das interfaces homem-máquina, começando pela HMI do EV.

##### 4.2.4.6.1. Estado 1 – Definição Inicial de Parâmetros



**Figura 4-38** - HMI EV Definição Inicial de Parâmetros

No estado 1 do código de gestão do EVpi, a interface homem-máquina é responsável por apresentar a tela de parametrização inicial do veículo elétrico (Figura 4-38). Nesta tela são estabelecidos os valores SoC da bateria do EV (1)

[EVRESSSoC], do limite máximo de corrente suportado pelo EV (2) [EVMaximumCurrentLimit] e do limite máximo de tensão suportado pelo EV (3) [EVMaximumVoltageLimit]. Estes parâmetros são estabelecidos, individualmente, através do seu respetivo *slider* (4), (5) e (6). Assim que definidos os parâmetros iniciais, o botão (7) “iniciar carregamento”, é responsável pelo envio da informação para o código de gestão do EVpi. Então, assim que o botão for pressionado, a informação definida através da HMI é enviada para o código de gestão do EVpi, onde é processada.

#### 4.2.4.6.2. Estados 2 e 3 – Cálculo de Energia Necessária e Início de Carregamento



**Figura 4-39 - HMI EV Cálculo de Energia Necessária e Início de Carregamento**

Nos estados 2 e 3 do código de gestão do EVpi, a interface homem-máquina apresenta uma nova tela, a tela de carregamento do veículo elétrico (ver Figura 4-39). Esta tela é usada para todos os estados com exceção do primeiro. Nesta tela é possível observar informação relativa ao carregamento, assim como informação relativa à sessão de comunicação. Nestes estados apenas são apresentadas algumas informações como o valor do SoC do EV (1) [EVRESSSoC], o mesmo estado de carga representado numa barra de progresso (2), a barra de informação da tela de carregamento do EV (3) e o identificador único do EVCC (4) [EVCCID].

A tela de carregamento da interface homem-máquina do veículo elétrico, neste estado apresenta um fundo preto, e a barra de informação da tela de carregamento do EV apresenta a mensagem “a iniciar carregamento...”.

#### 4.2.4.6.3. Estados 4 e 5 – Loop de Carregamento CC e Loop de Carregamento CV



**Figura 4-40** - HMI EV Loop de Carregamento CC e Loop de Carregamento CV

Nos estados 4 e 5 do código de gestão do EVpi, a interface homem-máquina do veículo elétrico apresenta na sua tela de carregamento, a informação relativa ao carregamento e sessão de comunicação que estão a ser executados no sistema. Esta informação atualiza na HMI do EV com uma periodicidade de 5 segundos (i.e., de 5 em 5 segundos). Nestes estados são apresentadas as restantes informações da tela de carregamento como é possível observar na Figura 4-40, sendo elas o tempo restante para o carregamento completo da bateria do EV (1) [RemainingTimeToFullSoC] apresentado no formato horas-minutos (hh:mm), a corrente de carregamento do veículo elétrico (2) [EVTargetCurrent], a tensão de carregamento do veículo elétrico (3) [EVTargetVoltage], o identificador único do equipamento de carga (4) [EVSEID] e o identificador da sessão de comunicação (5) [SessionID]. A tela de carregamento da interface homem-máquina do veículo elétrico, nestes estados apresenta um fundo azul, e a sua barra de informação

apresenta a mensagem “em carregamento...”, como é possível observar na Figura 4-40.

Durante estes dois estados, o utilizador pode solicitar a paragem do carregamento através da HMI do EV. Para tal, o utilizador pressiona o botão (6) “parar”, e a interface homem-máquina do veículo informa o código de gestão do EVpi que foi solicitada uma paragem de carregamento. Enquanto o código de gestão do EV não proceder ao corte de energia a barra de informação de estado da tela de carregamento do EV apresenta a mensagem “a parar...”. Este botão só está disponível na HMI do EV durante o *loop* de carregamento.

Existem pequenas diferenças de apresentação entre o estado 4 e o estado 5. Sendo o quarto estado do código de gestão do EVpi representado pelo *loop* de carregamento CC (técnica de carregamento CC), o valor do estado de carga da bateria do EV apresentado na HMI do mesmo varia entre os 0% e 79%, e o valor da corrente de carregamento do EV mantém-se constante no seu valor máximo (representação A da Figura 4-40). Já no quinto estado do código de gestão do EVpi representado pelo *loop* de carregamento CV (técnica de carregamento CV), o valor do SoC apresentado na HMI do EV varia entre os 80% e 99%, e o valor da tensão de carregamento do EV mantém-se constante no seu valor máximo. Ainda no *loop* de carregamento CV, o valor do tempo restante para carregamento completo é escondido quando o estado de carga da bateria do EV atinge os 99%. O exemplo do *loop* de carregamento CV pode ser observado na representação B da Figura 4-40, junto de uma solicitação de paragem.

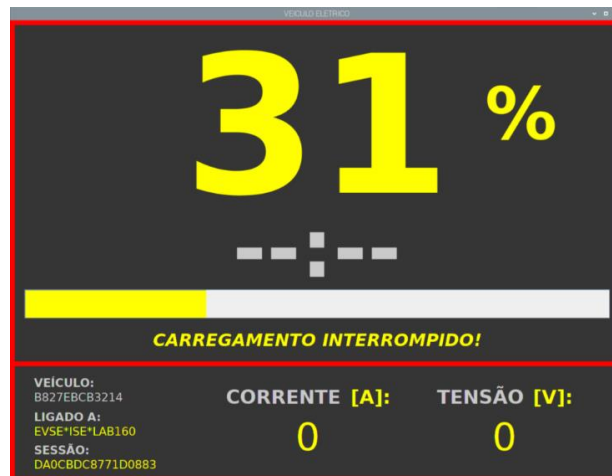
#### 4.2.4.6.4. Estado 6 – Fim de Carregamento



**Figura 4-41** - HMI EV Fim de Carregamento

No estado 6 do código de gestão do EVpi, a interface homem-máquina do veículo elétrico apresenta na sua tela de carregamento um fundo verde, que representa o carregamento completo da bateria do veículo elétrico. Como é possível observar na Figura 4-41, o valor do SoC da bateria do EV [EVRESSSoC) é apresentado a 100%, assim como a sua respetiva barra de progresso está totalmente cheia. Ainda neste estado, a barra de informação da tela de carregamento do EV apresenta a mensagem “carregamento completo!”, o valor do tempo restante para o carregamento completo permanece escondido e os valores da corrente e tensão de carregamento do EV são apresentados a 0.

#### 4.2.4.6.5. Estado 7 – Interrupção de Carregamento



**Figura 4-42 - HMI EV Interrupção de Carregamento**

No estado 7 do código de gestão do EVpi, a interface homem-máquina do veículo elétrico apresenta na sua tela de carregamento um fundo vermelho, que diz respeito ao carregamento interrompido pelo utilizador sem carregamento completo da bateria do veículo elétrico. Como é possível observar na Figura 4-42, o estado de carga da bateria do EV [EVRESSoC] é apresentado com o valor atual em que o carregamento foi interrompido, assim como a sua respetiva barra de progresso. Ainda neste estado, a barra de informação da tela de carregamento do EV apresenta a mensagem “carregamento interrompido!”, o valor do tempo restante para carregamento completo [RemainingTimeToFullSoC] é escondido e os valores da corrente [EVTargetCurrent] e da tensão [EVTargetVoltage] de carregamento do EV são apresentados a 0.



## 4.2.4.6.6. Estado 8 – Fim da Sessão de Comunicação



Figura 4-43 - HMI EV Fim da Sessão de Comunicação

No estado 8 do código de gestão do EVpi, a interface homem-máquina do veículo apresenta na sua tela de carregamento um fundo preto, referente ao final da sessão de comunicação. A sessão de comunicação pode ser terminada de duas formas: por carregamento completo da bateria do EV (estado 6), ou por interrupção de carregamento (estado 7). Quando a sessão de comunicação é terminada através de carregamento completo da bateria do EV, o estado de carga da bateria do EV [EVRESSSoC] apresenta o valor 100% e a sua barra de progresso está cheia como é possível observar na representação A da Figura 4-43.

Quando a sessão de comunicação é terminada através da interface homem-máquina do EV pelo utilizador, o SoC da bateria do EV apresenta o valor com o qual a paragem foi solicitada, assim como a sua barra de progresso, como é possível observar na representação B da Figura 4-43. Ainda neste estado, a barra de informação da tela de carregamento do EV apresenta a mensagem “sessão de carregamento terminada”. A tela de carregamento da interface homem-máquina do veículo no estado 8 do código de gestão do EVpi tem uma duração de 10 segundos de apresentação. Essa duração refere-se à transição do código do oitavo estado

para o estado inicial, e consequentemente o regresso à tela de definição de parâmetros.

Em seguida são descritas as tarefas associadas aos estados do EVSEpi através das representações gráficas da interface homem-máquina do equipamento de carga.

#### 4.2.4.6.7. Estado 1 – Definição Inicial de Parâmetros



**Figura 4-44 - HMI EVSE Definição Inicial de Parâmetros**

No estado 1 do código de gestão do EVSEpi, a interface homem-máquina do equipamento de carga é responsável por apresentar a tela de parametrização inicial do equipamento de carga (Figura 4-44). Nesta tela são estabelecidos os valores do limite máximo de corrente suportado pelo EVSE (1) [EVSEMaximumCurrentLimit], do limite mínimo de corrente suportado pelo EVSE (2) [EVSEMinimumCurrentLimit], do limite máximo de tensão suportado pelo EVSE (3) [EVSEMaximumVoltageLimit] e do limite mínimo de tensão suportado pelo EVSE (4) [EVSEMinimumVoltageLimit]. Assim que definidos os parâmetros iniciais, o botão (9) “iniciar EVSE”, é responsável pelo envio da informação para o código de gestão do EVSEpi, e consequente início de espera do SECC por uma comunicação vinda pela parte do EVCC. Então, assim que o botão “iniciar EVSE” for pressionado, a informação definida através da

interface homem-máquina do equipamento de carga é enviada para o código de gestão do EVSEpi, onde é processada.

#### 4.2.4.6.8. Estado 2 – Aguardando Comunicação



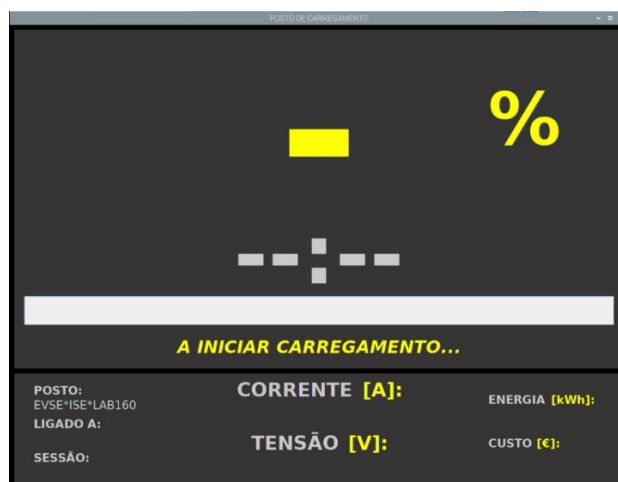
**Figura 4-45** - HMI EVSE Aguardando Comunicação

No estado 2 do código de gestão do EVSEpi, a interface homem-máquina apresenta uma nova tela, a tela de carregamento do equipamento de carga (ver Figura 4-45). Esta tela é usada para todos os estados com exceção do primeiro. Embora esta tela apresente informação relativa ao carregamento e à sessão de comunicação, neste segundo estado a comunicação entre o SECC e o EVCC ainda não está estabelecida. Então, o código de gestão do EVSEpi apenas disponibiliza a informação da barra de informação de estado da tela de carregamento do EVSE (1) e do identificador único do equipamento de carga (2) [EVSEID].

Enquanto não é estabelecida uma nova sessão de comunicação entre os controladores de comunicação, o operador do ponto de carga ainda tem a opção de definir novos limites de tensão e corrente. Ao pressionar o botão (3) “parar EVSE”, o operador do ponto de carga faz com que o código de gestão do EVSEpi transite para o estado 1, onde podem ser definidos esses limites de novo. A tela de carregamento da interface homem-máquina do equipamento de carga, neste estado

apresenta um fundo preto, e a barra de informação da tela de carregamento do EVSE apresenta a mensagem “aguardando veículo...”.

#### 4.2.4.6.9. Estado 3 – Início de Carregamento



**Figura 4-46** - HMI EVSE Início de Carregamento

No estado 3 do código de gestão do EVSEpi, o controlador de comunicação do equipamento de carga já estabeleceu uma sessão de comunicação com o controlador de comunicação do veículo elétrico. Em termos de apresentação, este estado apenas difere do segundo na mensagem da barra de informação da tela de carregamento. Neste estado a barra de informação apresenta a mensagem “a iniciar carregamento...” como é possível observar na Figura 4-46.

## 4.2.4.6.10. Estado 4 – Loop de Carregamento



Figura 4-47 - HMI EVSE Loop de Carregamento

No estado 4 do código de gestão do EVSEpi, a interface homem-máquina do equipamento de carga apresenta, na sua tela de carregamento, a informação relativa ao carregamento e sessão de comunicação que estão a ser executados no sistema. Esta informação é atualizada na interface homem-máquina do equipamento de carga com uma periodicidade de 5 segundos. Neste estado são apresentadas as restantes informações da tela de carregamento como é possível observar na Figura 4-47, sendo elas o SoC da bateria do EV (1) [EVRESSSoC], o mesmo estado de carga representado numa barra de progresso (2), o tempo restante para o carregamento completo da bateria do EV (3) [RemainingTimeToFullSoC] apresentado no formato horas-minutos (hh:mm), a corrente de carregamento do EVSE (4) [EVSEPresentCurrent], a tensão de carregamento do EVSE (5) [EVSEPresentVoltage], o identificador único do EVCC (6) [EVCCID], o identificador da sessão de comunicação (7) [SessionID], a energia elétrica transferida durante o carregamento (8) [ChargeEnergy] e o custo da energia elétrica transferida durante o carregamento (9) [ChargeEnergyCost].

A tela de carregamento da interface homem-máquina do equipamento de carga, neste estado apresenta um fundo azul, e a sua barra de informação apresenta a mensagem “em carregamento...”, como é possível observar na Figura 4-47. Ainda

no *loop* de carregamento, o valor do tempo restante para carregamento completo é escondido quando o estado de carga da bateria do EV atinge os 99% com é possível observar na representação B da Figura 4-47.

#### 4.2.4.6.11. Estado 5 – Fim de Carregamento



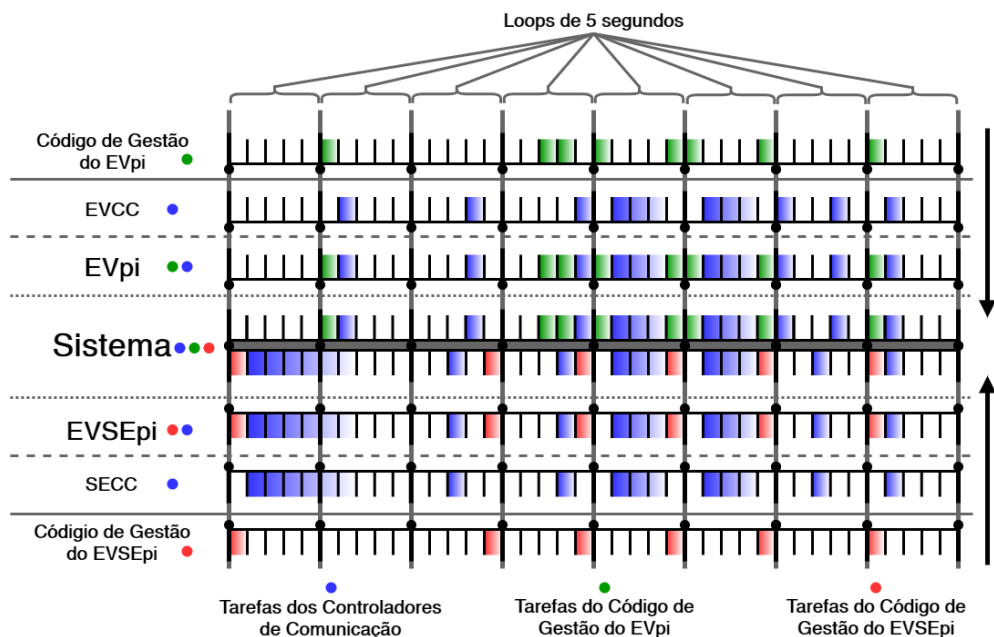
**Figura 4-48 - HMI EVSE Fim de Carregamento**

No estado 5 do código de gestão do EVSEpi, denominado de fim de carregamento, a interface homem-máquina do equipamento de carga apresenta na sua tela de carregamento um fundo verde, que representa o carregamento terminado da bateria do veículo elétrico. Como é possível observar na Figura 4-48, a barra de informação da tela de carregamento do equipamento de carga apresenta a mensagem “carregamento terminado!” e o valor do tempo restante para o carregamento completo [RemainingTimeToFullSo] é escondido, pois já não é relevante neste estado. Os parâmetros corrente [EVSEPresentCurrent] e tensão [EVSEPresentVoltage] de carregamento do equipamento de carga também são apresentados, mas desta vez com o valor 0. O valor do SoC da bateria do EV [EVRESSSoC] é apresentado a 100%, no caso em que o veículo elétrico é carregado totalmente, como é possível observar na representação A da Figura 4-48. Havendo uma interrupção de carregamento por parte do utilizador, através da interface

homem-máquina do veículo elétrico, o estado da carga da bateria do EV é representado com o valor que o carregamento for interrompido. Este segundo caso é possível observar na representação B da Figura 4-48. A tela de carregamento da interface homem-máquina do equipamento de carga no estado 5 do código de gestão do EVSEpi tem uma duração de 10 segundos de apresentação. Essa duração refere-se à transição do código do quinto estado para o estado inicial, e consequentemente o regresso à tela de definição de parâmetros.

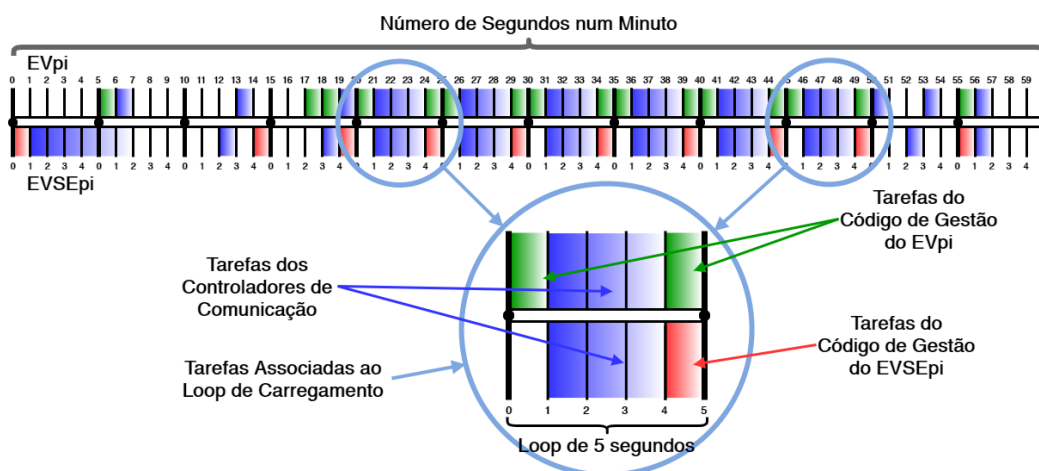
#### *4.2.4.7. Algoritmo de Escalonamento de Tarefas*

O sistema de comunicação ainda implementa um algoritmo de escalonamento de tarefas, de forma que toda a informação possa fluir de forma sincronizada e sem falhas ou colisões. Este algoritmo não só permite que o sistema fique mais leve a nível de processamento, como também evita colisões de acesso ao ficheiro de parâmetros de cada bloco. As tarefas executadas no sistema são compostas pelas tarefas executadas pelo EVpi e pelo EVSEpi. As tarefas executadas pelo EVpi são compostas pelas tarefas executadas pelo código de gestão do EVpi e pelo EVCC. As tarefas executadas pelo EVSEpi são compostas pelas tarefas executadas pelo código de gestão do EVSEpi e pelo SECC. Na Figura 4-49 é possível observar o escalonamento de tarefas a partir de ambos os extremos do sistema. Nesta figura, os controladores de comunicação, embora implementados em máquinas separadas, são representados na mesma cor (azul) porque realizam tarefas em conjunto durante a sessão de comunicação. Ainda nesta figura, é possível observar que nenhuma tarefa se sobrepõe no mesmo bloco (EVpi ou EVSEpi).



**Figura 4-49** - Escalonamento de Tarefas do Sistema de Comunicação

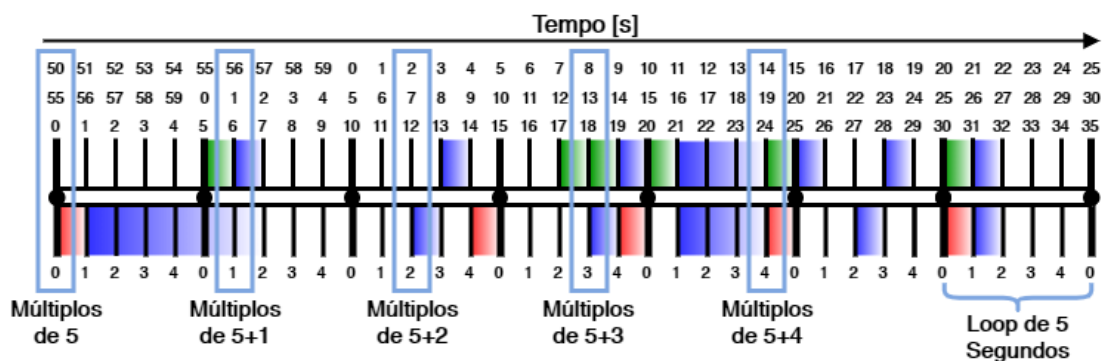
Este algoritmo é baseado em *loops* de 5 segundos, onde cada segundo corresponde a um conjunto de tarefas que não comprometem o fluxo de informações. Em outras palavras, os 60 segundos de um minuto são divididos em 12 *loops* de 5 segundos. Cada *loop* de 5 segundos corresponde a um *loop* de carregamento do respetivo código de gestão e cada intervalo de segundo em um *loop* de 5 segundos corresponde a um conjunto de tarefas associadas a esse *loop* de carregamento, como pode ser visto na Figura 4-50.



**Figura 4-50** - Loops do Algoritmo de Escalonamento de Tarefas



Conjuntos de tarefas divididos por intervalos de 1 segundo, normalmente, têm um tempo de execução menor que 1 segundo, contudo um intervalo de um segundo completo é reservado para cada conjunto de tarefas. O escalonamento em intervalos ao longo do *loop* de 5 segundos é realizado sempre que os segundos do relógio são múltiplos de 5. Por exemplo, se uma determinada tarefa é executada no intervalo [0 a 1], o algoritmo executa esta mesma tarefa quando os segundos de os minutos são múltiplos de 5, ou seja, esta tarefa pode ser iniciada nos segundos 0, 5, 10, 15, 20, 25, etc. Quando uma determinada tarefa é executada, por exemplo, no intervalo [3 a 4], o algoritmo realiza esta mesma tarefa quando os segundos do minuto são múltiplos de 5 e resto 3, ou seja, esta tarefa pode ser iniciada nos segundos 3, 8, 13, 18, 23, 28, etc. Estes exemplos podem ser seguidos na Figura 4-51.



**Figura 4-51** - Divisão de Tarefas no Tempo do Algoritmo de Escalonamento

Essa sincronização é realizada entre as máquinas por meio do parâmetro marca temporal do EVSE [EVSETimeStamp] enviado pelo SECC ao EVCC na mensagem V2G *SessionSetupRes*. Através desta marca temporal, o EVCC adota o mesmo tempo que o SECC, sendo possível realizar a sincronização durante a sessão de comunicação. A utilização dos *loops* de 5 segundos para o algoritmo foi realizada com base nas tarefas que os blocos podem realizar sem comprometer o sistema. Partindo que cada bloco foi implementado num microcomputador Raspberry Pi 3 - Modelo B e os controladores comunicam por meio de rede sem fios (WiFi), em cada

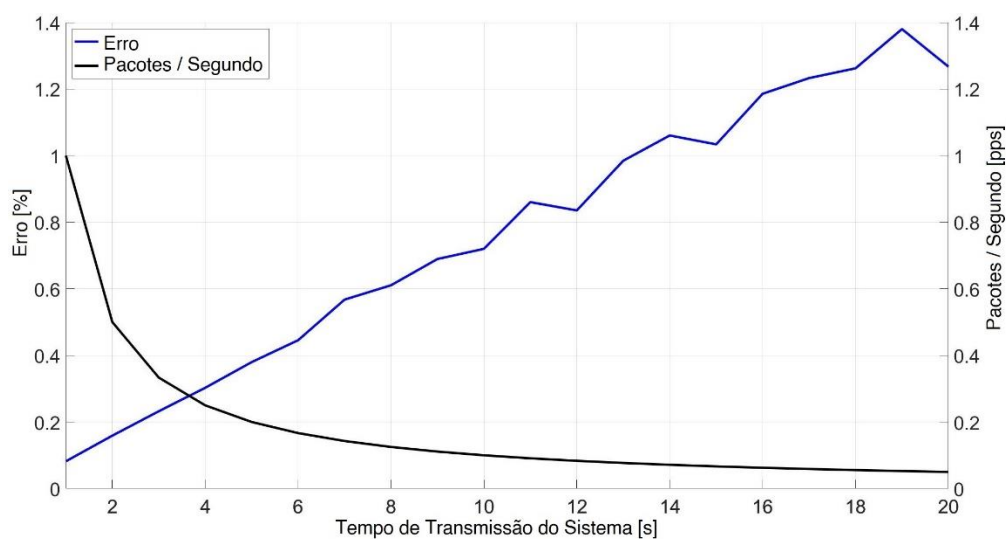
*loop* de carregamento de 5 segundos, foram reservados 3 segundos apenas para comunicação. Os 2 segundos restantes, dos 5 segundos do *loop*, foram reservados para tarefas do código de gestão de cada bloco. Nestes 2 segundos, os códigos de gestão são responsáveis por tarefas como analisar e atualizar os parâmetros de carga, assim com atualizar a sua respetiva HMI.

Por outro lado, um dos cenários propostos no desenvolvimento deste sistema de comunicação foi a sua agregação com um sistema de carregamento que integre geração de energia renovável. Contudo, e devido à intermitência oriunda da energia proveniente da geração renovável, existe uma maior necessidade na fiabilidade durante a troca de informação. Isto é, a troca de informação entre os controladores de comunicação relacionadas com os parâmetros de energia devem acompanhar a informação da energia que é gerada instantaneamente pela fonte renovável. Supondo ligação à rede elétrica, desta forma podem ser evitados consumos excecionais, sendo apenas consumida para carregamento a energia gerada pela fonte renovável.

Para provar que os 5 segundos entre as transmissões dos controladores de comunicação são suficientes para garantir uma troca de informação viável, foram realizadas simulações no Matlab IDE. Estas simulações permitem descobrir o erro associado à energia transmitida entre os controladores de comunicação do sistema e a energia fornecida por um conjunto de painéis fotovoltaicos ao abastecimento equipamento. Para tal, foi utilizada uma amostragem de alta-definição, que disponibiliza a potência por metro quadrado coletada durante cerca de 11 horas de luz diária por uma unidade de painéis fotovoltaicos durante um dia [18]. Assim, foi definido o pior cenário possível, em que a nebulosidade é extremamente instável e o equipamento de carga carrega o veículo elétrico apenas com recurso a energia de geração renovável, não recorrendo ao banco de baterias.

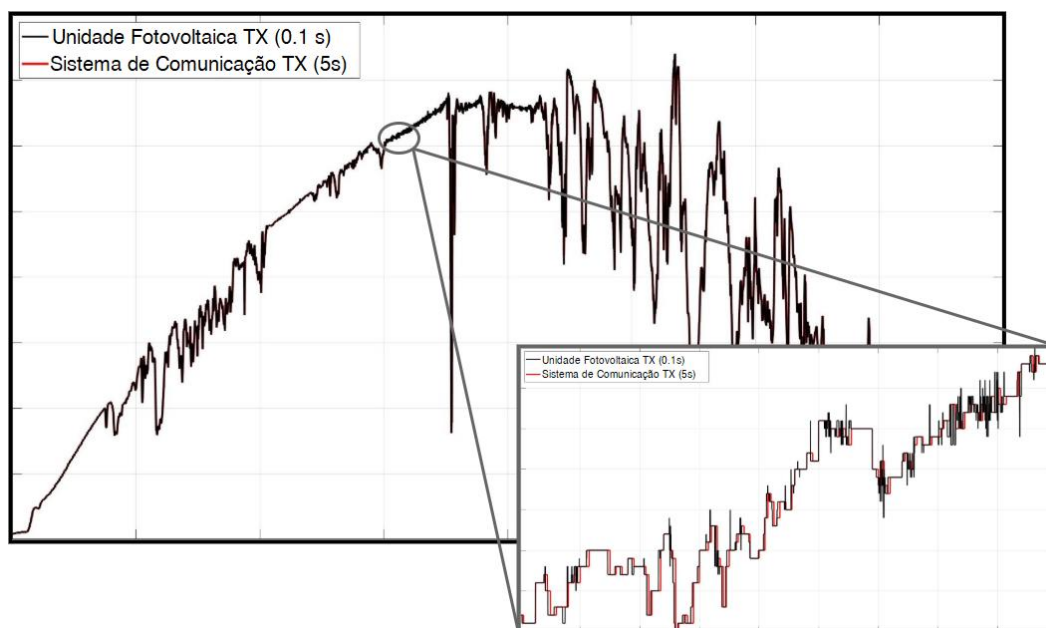
Assim, foram realizadas simulações na qual a unidade de painéis fotovoltaicos informa o valor da potência por metro quadrado com uma periodicidade de 100 milissegundos (ou seja, a cada 100 milissegundos), fazendo variar o tempo de

comunicação entre os controladores de 1 a 20 segundos. Destas simulações obteve-se o gráfico da Figura 4-52.



**Figura 4-52 - Erro de Transmissão associado ao Sistema**

Através deste gráfico é possível concluir que a comunicação entre controladores com uma periodicidade de 5 segundos utilizada no algoritmo de escalonamento de tarefas, tem um erro associado muito baixo (0.3798%). Também é possível concluir que a taxa de pacotes por segundo é relativamente baixa (0.2).

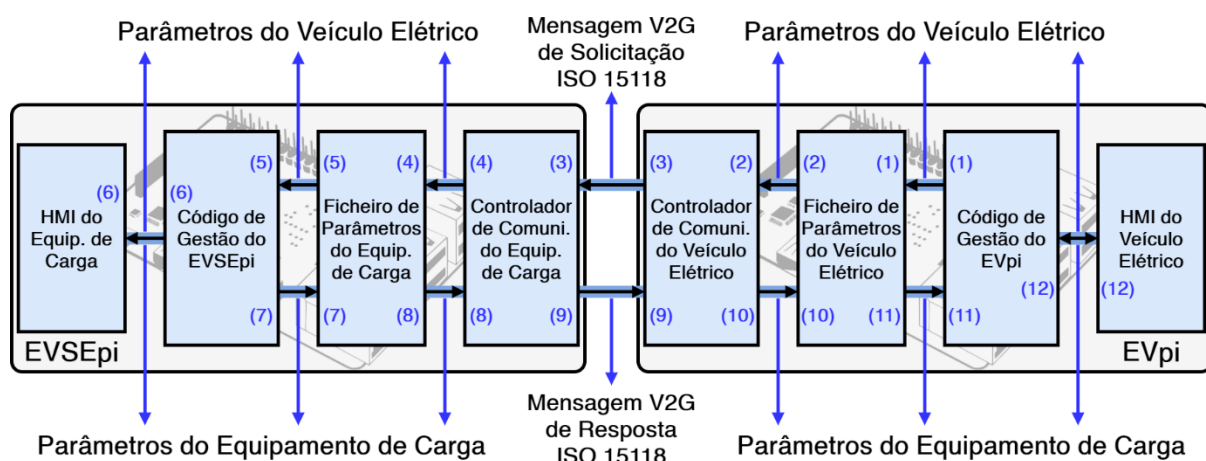


**Figura 4-53 - Amostragem Comparativa**

Na Figura 4-53 é possível observar que a variação entre os valores transmitidos pela unidade de painéis fotovoltaicos e os valores transmitidos entre os controladores de comunicação (erro) não é muito significativa ao longo da amostra diária. Ainda nesta figura, é possível observar um trecho da amostra diária, com cerca de 15 minutos, onde é possível verificar com melhor definição que a informação transmitida entre os controladores consegue acompanhar a informação fornecida pela unidade de painéis. Justifica-se assim a utilização de comunicação com uma periodicidade de 5 segundos para o algoritmo de escalonamento de tarefas.

#### 4.2.4.8. Descrição da Troca de Parâmetros

Em seguida é descrito como é realizada a troca de informação (parâmetros) no sistema de comunicação. Para tal, será utilizado como exemplo a mensagem V2G *CurrentDemand*. Esta mensagem V2G é trocada repetidamente durante o *loop* de carregamento DC, durante uma sessão de comunicação segundo o protocolo de comunicação da ISO 15118. Na Figura 4-54, a numeração (1) a (12) corresponde a:



**Figura 4-54 - Esquema de Troca de Parâmetros do Sistema**

(1) O código de gestão do EVpi gera os valores atualizados dos parâmetros de carregamento do veículo e envia-os para a lista de registo do ficheiro de parâmetros.

(2) O EVCC ao preparar-se para enviar a mensagem de solicitação (*CurrentDemandReq*), obtém os valores atualizados a partir da lista de registos do ficheiro de parâmetros do veículo.

(3) O EVCC envia a mensagem *CurrentDemandReq* para o SECC, contendo no seu corpo os parâmetros de carregamento do veículo.

(4) O SECC, ao receber a mensagem *CurrentDemandReq*, envia os parâmetros do veículo para a lista de registos do ficheiro de parâmetros no lado do equipamento de carga.

(5) O código de gestão do EVSEpi obtém os valores dos parâmetros de carregamento do veículo através do ficheiro de parâmetros do equipamento de carga. Estes parâmetros são utilizados pelo EVSE para processamento do carregamento, cálculo de tarifas e monitorização de dados pelo CPO.

(6) O código de gestão do EVSEpi, após receber os parâmetros do veículo, processa-os com a restante informação, e disponibiliza as informações resultantes para a sua HMI.

(7) O código de gestão do EVSEpi gera os valores atualizados dos parâmetros do equipamento de carga e envia-os para a lista de registo de seu ficheiro de parâmetros.

(8) Após receber a mensagem de solicitação (*CurrentDemandReq*) do EVCC, o SECC prepara-se para enviar a mensagem de resposta (*CurrentDemandRes*). Para tal, obtém os valores atualizados dos parâmetros de carregamento do EVSE, através da lista de registos do ficheiro de parâmetros do equipamento de carga.

(9) O SECC envia a mensagem de resposta (*CurrentDemandRes*) ao EVCC, contendo no seu corpo os parâmetros de carregamento do EVSE.

(10) O EVCC, ao receber a mensagem *CurrentDemandRes*, envia os parâmetros do EVSE para a lista de registos do ficheiro de parâmetros no lado do EV.

(11) O código de gestão do EVpi obtém os valores dos parâmetros de carregamento do EVSE através do ficheiro de parâmetros do EV. Estes parâmetros são usados pelo veículo para processamento de carga.

(12) O código de gestão EVpi, após receber os parâmetros do EVSE e processá-los juntamente com a restante informação, disponibiliza as informações resultantes para a sua HMI.

Todas estas trocas de informação são realizadas de forma continua (em *loop*) com uma periodicidade de 5 segundos.

#### 4.2.4.9. Resultados / Testes

Na Figura 4-55 é possível observar o produto final do sistema de comunicação, resultante da arquitetura apresentada anteriormente. O sistema funciona como um emulador de carregamento, visto que nesta fase inicial de testes não está aplicado a um sistema real de carregamento. No lado esquerdo, é mostrado a interface homem-máquina do EVSE, e um pouco mais abaixo o microcomputador (EVSEpi) responsável por executar o código de gestão do EVSEpi e o código fonte do SECC. No lado direito da figura, é mostrado a interface homem-máquina do EV, e o microcomputador (EVpi) responsável por executar o código de gestão do EVpi e o código fonte do EVCC. No centro da figura, está representada a página web do servidor de dados IoT (Emoncms) que contem todas as informações sobre os processos de carregamento.



**Figura 4-55 - Resultado Final do Sistema Emulador de Carga**



As informações apresentadas nos gráficos presentes no servidor de dados são baseadas nos parâmetros iniciais de carregamento do EV e EVSE e no período de tempo em que a emulação de carga é realizada. Neste caso, os parâmetros iniciais do EV correspondem aos parâmetros da bateria virtual do EV, descritos na Tabela 4.6. Para cada emulação de carga, é criado um gráfico temporal no servidor de dados IoT, com informações provenientes do veículo e do equipamento de carga. Estas informações são enviadas para o servidor com uma periodicidade de 1 minuto (i.e., minuto a minuto) pelo EVSE, o que permite observar o dinamismo na troca de parâmetros do protocolo de comunicação ISO 15118 ao longo da emulação de carga. Em seguida, são apresentados como exemplo dois destes gráficos, obtidos através das condições iniciais de emulação da Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Condições de Emulação de Carga

|                                  |       |                                |       |
|----------------------------------|-------|--------------------------------|-------|
| Limite Máximo de Corrente (EVSE) | 250 A | Estado de Carga (EV)           | 10%   |
| Limite Mínimo de Corrente (EVSE) | 2 A   | Limite Máximo de Corrente (EV) | 117 A |
| Limite Máximo de Tensão (EVSE)   | 400 V | Limite Máximo de Tensão (EV)   | 400 V |
| Limite Mínimo de Tensão (EVSE)   | 120 V | Tarifário Aplicado             | Ponta |

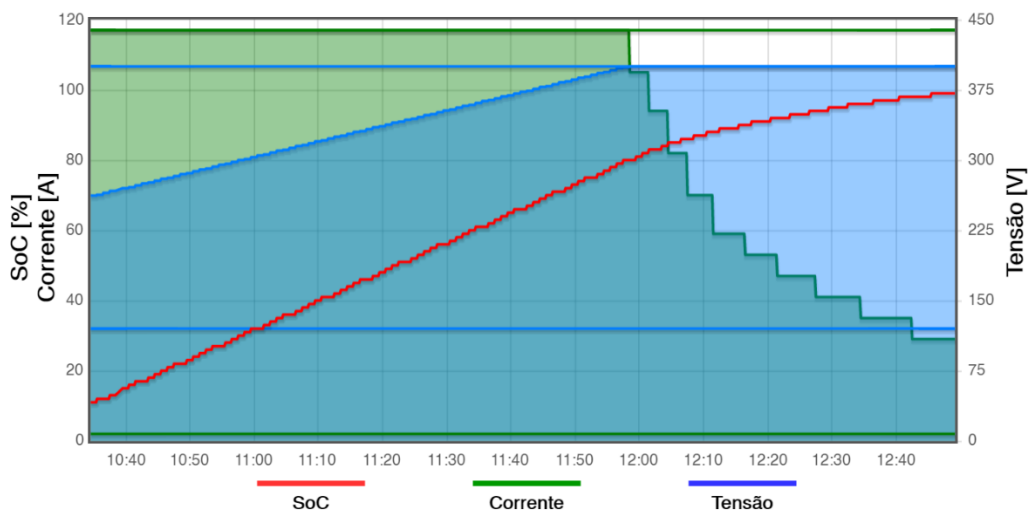
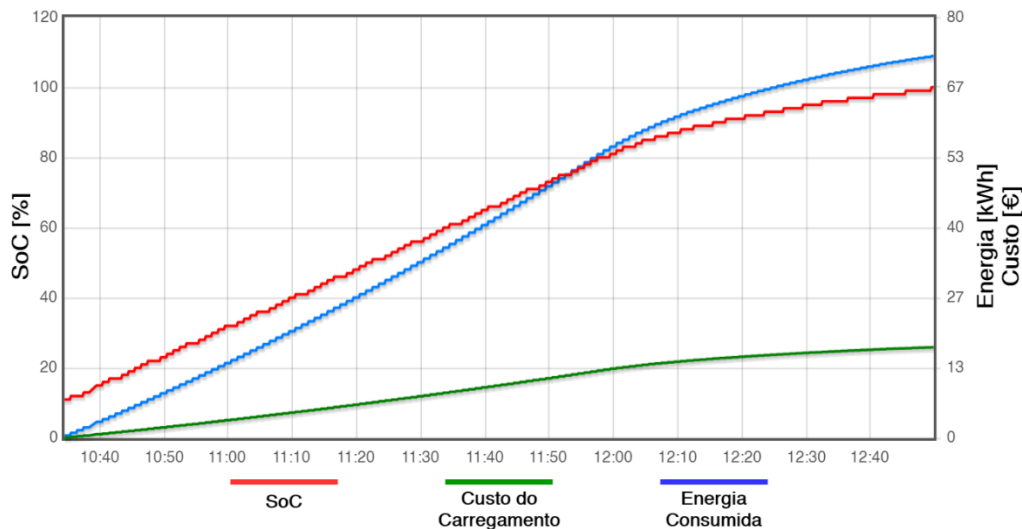


Figura 4-56 - Gráfico de Carregamento (Comportamento da Corrente e Tensão)

O gráfico da Figura 4-56 ilustra o comportamento da corrente e da tensão durante a emulação de carga com as características da Tabela 4.8. Neste gráfico, é possível verificar que a corrente e a tensão de carga seguem o comportamento descrito na aproximação da estratégia de carga CC-CV descrita na representação B da Figura 4-33.



**Figura 4-57** - Gráfico de Carregamento (Comportamento da Energia e Custo)

O gráfico da Figura 4-57 ilustra o comportamento da energia consumida e o custo associado à mesma durante a emulação de carregamento com as condições anteriores. Através deste gráfico, é possível verificar que o veículo iniciou a emulação de carregamento com um estado de carga de 10%, por volta das 10:34h e terminou, com um estado de carga de 100%, por volta das 12:49h. Durante estas 2 horas e 15 minutos, o veículo carregou 90% da sua bateria, onde foram transferidos aproximadamente 72,7 kWh. Esta emulação foi efetuada num período de horário em que a eletricidade tem o seu custo mais elevado (horas de ponta), pelo que os 72,7 kWh transferidos da rede elétrica para a bateria EV resultaram num custo de carregamento de 17,30 € de acordo com o tarifário aplicado.



### 4.3. Otimização da Gestão de Carregamentos para Frotas de Veículos Elétricos em Contextos Turísticos

Na secção 4.1 foi descrita a estrutura interna de uma possível estação de carga e na secção 4.2 os mecanismos de controlo e de comunicação que permitem regular o carregamento de Veículos Elétricos. A gestão eficiente de ambos, estação de carga e carregamentos, requer a introdução de mecanismos de otimização que permitam maximizar a utilização da energia gerada localmente e por essa via minimizar a utilização de energia proveniente da rede de distribuição. Este é o objetivo desta secção, que começa com a descrição de um simulador implementado da estação descrita na secção 4.1, para depois, com base nesse simulador, desenvolver algoritmos de otimização multiobjectivo, baseados em Algoritmos Genéticos.

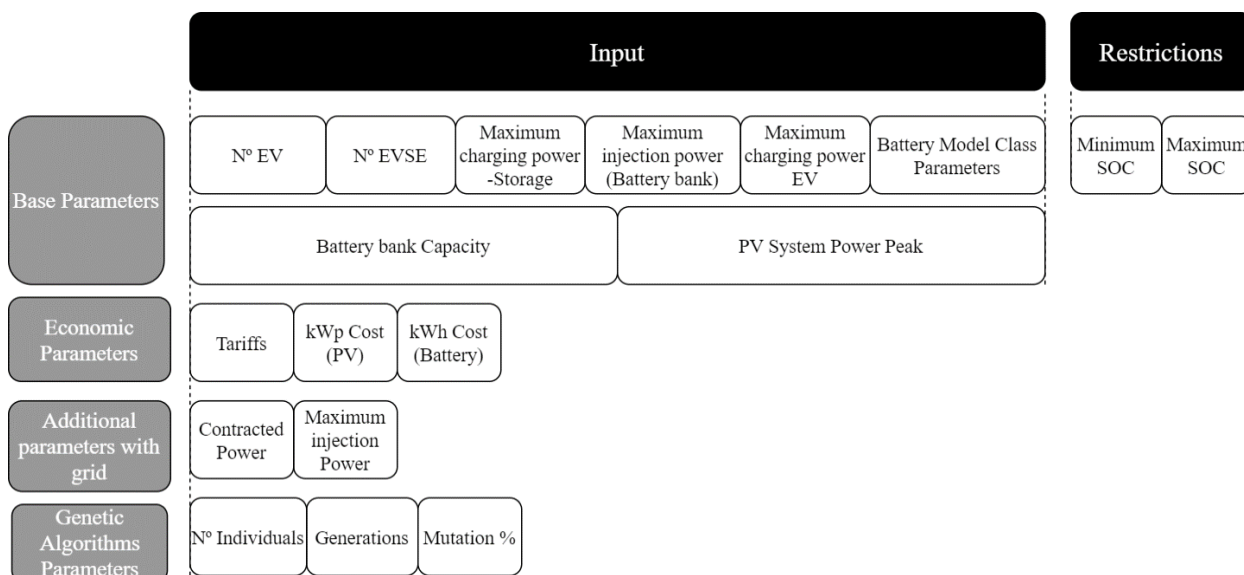
#### 4.3.1. Otimização de distribuição de carregamentos, utilizando Algoritmos Genéticos Multiobjectivo

##### *4.3.1.1. Simulador*

A estação de carga descrita na secção 4.1 foi modelada em MATLAB. O sistema criado permite: (1) simular uma ou várias estações de carregamento, com localização variável, permitindo especificar a distância entre estações; (2) simular um número variável de veículos elétricos que circula entre estações, cada um deles com especificações associadas de capacidade de bateria, início e término de alugueres diários e com uma previsão de trajeto ao longo do dia (estimativa de períodos em trânsito entre estações e períodos parquados em cada um dos postos de carregamento).

O modelo implementado possui vários parâmetros de entrada, que permitem caracterizar o sistema e o tipo de perfil de carga diária pretendido, representados na

Figura 4-58. A conexão, ou não, à rede elétrica de distribuição é logo à partida um parâmetro que tem impacto nos perfis de carregamento, nos respetivos tempos de carregamento, evolução nos Estados de Carga (SoC) e contribui para o retorno financeiro (no caso de haver excedente e injetar na rede com intuito de vender). Na seleção dos cenários de testes pode-se também escolher se a simulação considera o tipo de tarifário de Verão ou Inverno, número de VE, potências máximas dos equipamentos, entre outros parâmetros. A otimização da alocação cargas para cada VE (ao longo da sua dinâmica) é feita através de algoritmos genéticos nos quais se podem definir o número de indivíduos, gerações e a percentagem de mutação desejada.



**Figura 4-58-**Parâmetros de Entrada

#### 4.3.1.2. *Crítérios de Gestão Energética da Estação*

Em seguida serão descritos os critérios de gestão da estação que foram aplicados ao simulador. São especificados os critérios de gestão energética quando há ou não há energia de geração à disposição da estação de carga, e tidos em conta os critérios de decisão: (a) Ligação ou não à rede de distribuição; (b) Com ou sem Veículos presentes no sistema.

**Tabela 4.9-** Critérios do Modelo sem geração

| Sem Geração  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| Com ligação à Rede de Distribuição   |   | Sem ligação à Rede de Distribuição                                 |  |
| Com VEs  | Sem VEs                                     | Com VEs  | Sem VEs  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bateria interna carrega VEs, escalonados para carregar, à potência máxima dos mesmos;</li> <li>- Se não for suficiente para suprir toda a demanda, a rede fornece o que falta.</li> </ul> | Bateria interna mantém o SoC. Não há carga. | Bateria interna carrega VEs escalonados para carregar até SoC<15%. | SoC da Bateria interna toma valor constante até haver geração. |

**Tabela 4.10-** Critérios do Modelo com geração

| Com Geração   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| Com ligação à Rede de Distribuição  |   | Sem ligação à Rede de Distribuição  |   |
| Com VEs   | Sem VEs   | Com VEs   | Sem VEs   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geração carrega todos os VEs escalonados para carregar à potência máxima dos mesmos;</li> <li>- Caso não seja suficiente, a Rede fornece o que falta para suprir a demanda.</li> </ul> | Geração carrega a Bateria interna à potência máxima e vende o remanescente (caso haja). | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geração carrega VEs escalonados para carregar;</li> <li>- Caso haja geração excedente, carrega bateria interna.</li> </ul> | Geração carrega Bateria interna até ao SoC máximo definido (90-99%) |

#### 4.3.1.3. Parâmetros de Avaliação do Sistema Estações de Carregamento e Veículos

De modo a se poder fazer uma quantificação e avaliação dos sistemas renováveis, utilizam-se habitualmente métodos e parâmetros de avaliação. Estes métodos, podem-se dividir em dois grupos, os Financeiros e os de Fluxo de Energia [23].

Nos Métodos Financeiros e de *Payback* é feita uma estimativa do valor (em €) poupado anualmente. Para tal tem-se em conta o destino do excedente energético (venda), o que culmina no cálculo *payback* final desse sistema, cujo valor (em

anos/meses) será o necessário até se pagar todo o investimento inicial (quer pela venda de energia quando possível, quer pela poupança obtida pela energia que se deixa de comprar) e se começar a obter lucro .

Nos Métodos Fluxo de Energia, calculam-se as taxas de autoconsumo e autossuficiência, que por sua vez permitem quantificar se os rácios produção/armazenamento/consumo são os adequados. Em seguida descrevem-se cada um destes métodos.

#### *4.3.1.4. Métodos Financeiros e de Payback*

Em termos de parâmetros financeiros, considera-se a poupança anual em relação ao que é gerado, a possibilidade de venda à rede de distribuição e o *payback*. Em seguida são abordados cada um destes.

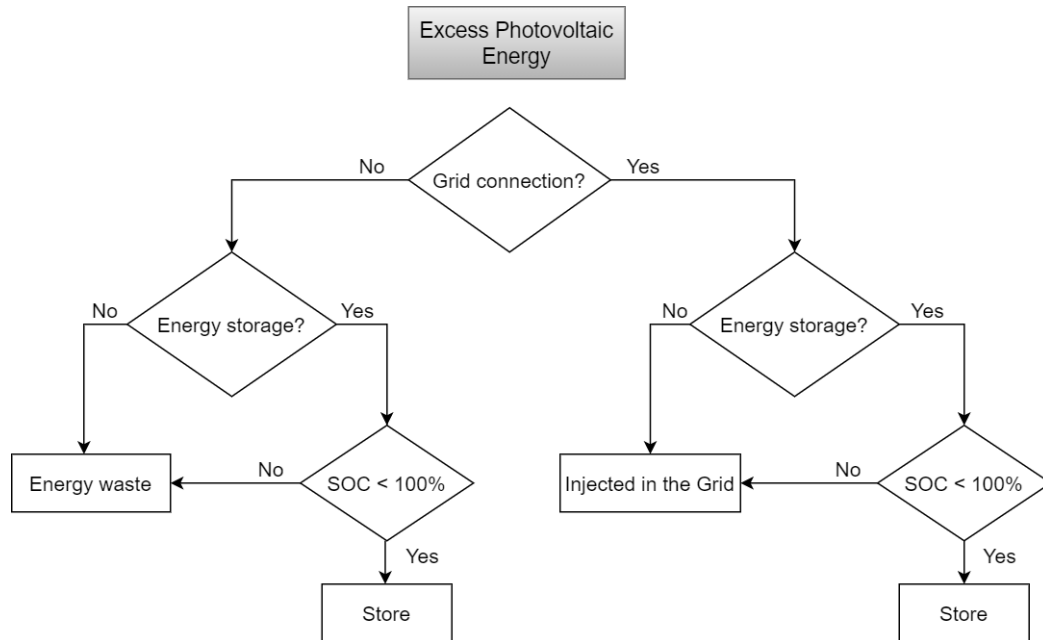
A **poupança anual** (em €) é obtida a partir da energia que não é comprada à rede, o que equivale ao consumo que o sistema instalado consegue garantir. Este valor obtém-se pelo somatório da geração autoconsumida ao longo do ano tendo em conta a tarifa do momento da compra, que normalmente ocorre em intervalos de 15 em 15 minutos.

No caso de a potência gerada ser maior que a potência consumida em carregamento de veículos elétricos, deixa de haver consumo (não se compra à rede), essa diferença entre a curva gerada e a curva de consumo pode ter um dos quatro destinos propostos:

- Injetada na rede sem qualquer vantagem (injeção gratuita);
- Venda à rede de distribuição;
- Carga de unidades de baterias local;

No caso de a potência gerada ser menor que a potência consumida em carregamento de veículos elétricos, nesse intervalo temporal está-se a poupar o valor da potência gerada (potência gerada consumida é potência que não se compra à rede).

Por vezes, pode ocorrer um **excesso de energia** gerada. Existem vários casos-tipo com vista o destino final desse mesmo excesso, estão representados no esquema na Figura 4-59.



**Figura 4-59-** 1ª Árvore de decisão relativo ao excesso de energia fotovoltaica

Havendo ligação à rede de distribuição, o lucro obtido pela mesma resulta do produto entre a potência gerada em excesso pelo preço de venda à rede de distribuição:

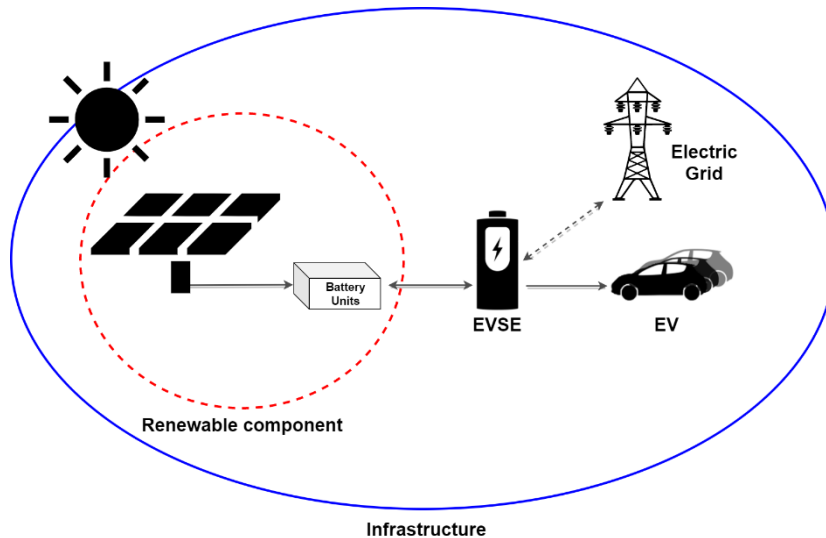
$$Lucro\ de\ venda = P_{excesso} * tarifa_{venda} \quad (4.17)$$

onde  $P_{excesso}$  traduz o valor de potência gerada em excesso e a  $tarifa_{venda}$  corresponde ao preço de venda de energia à rede.

No cálculo do *payback*, de uma forma simples temos em consideração dois fatores: (1) O custo total da instalação, que é o valor do investimento inicial (por norma elevado), i.e., a soma dos valores de todos os componentes do sistema, os seus meios de interconexão e despesas de montagem; (2) A poupança anual

(energia gerada utilizada que não é comprada à rede de distribuição) [24]; (3) O lucro da venda da energia gerada em excesso.

A Figura 4-60 caracteriza os tipos de investimentos envolvidos num sistema de carga de veículos elétricos. É possível dividir o payback do sistema em dois componentes: Payback Renovável; Payback Infraestrutura.



**Figura 4-60-** Topologias de Payback

O Payback renovável compreende apenas, o sistema fotovoltaico e o de armazenamento, podendo ser obtido pela seguinte expressão:

$$\text{Payback Renovavel} = \frac{\text{Custo Sistema Renovavel}}{\text{Proveitos da geração}} \quad [\text{anos}] \quad (4.18)$$

No caso de haver ligação à rede (OnGrid), os *Proveitos da geração* resultam da soma entre:

$$\begin{aligned} \text{Proveitos da geração} = & \text{Proveitos obtidos através do Armazenado nas Baterias} + \\ & \text{Poupança obtida pela não aquisição da energia gerada à rede} + \\ & \text{Proveitos da Venda excesso à rede} \end{aligned} \quad (4.19)$$

No caso de não haver ligação à rede (OffGrid):

*Proveitos da geração =*

*Proveitos obtidos através do Armazenado nas Baterias +*

*Poupança equivalente obtida pela não aquisição da energia gerada à rede* (4.20)

Onde:

$$\text{Poupança obtida pela não aquisição da energia gerada à rede} = \text{Potência injetada} * \text{Tarifário de venda atual} \quad (4.21)$$

*Proveitos obtidos através do Armazenado nas Baterias*

*= Potência injetada pela bateria*

*\* Tarifário de venda atual* (4.22)

Já o Payback da Infraestrutura contabiliza toda a infraestrutura.

$$\text{Payback Infraestrutura} = \frac{\text{Custo Sistema Total}}{\text{Proveito Total}} \quad [\text{anos}] \quad (4.23)$$

Onde:

$$\text{Custo Sistema Total} = \text{Custo Sistema Renovável} + \text{Custo Posto} \quad (4.24)$$

$$\text{Proveito Total} = \text{Poupado geração} + \text{Venda ao Utilizador} - \text{Compra à rede} \quad (4.25)$$

#### 4.3.1.5. Métodos de Fluxos de Energia

Nestes métodos, calculam-se as taxas específicas de autoconsumo e autossuficiência. Para tal, ter-se-á em conta os seguintes fluxos [23]: (1) Quantidade de Energia gerada no sistema Fotovoltaico; (2) Quantidade de Energia consumida

diretamente, devido a carregamentos simultâneos à geração; (3) Quantidade de Energia autoconsumida proveniente do sistema Fotovoltaico e do armazenamento; (4) Quantidade de Energia consumida proveniente da rede.

A **taxa de Autoconsumo Direto** representa o rácio (percentagem) de energia fotovoltaica gerada que é consumida localmente.

Esta taxa é definida pelo quociente [23]:

$$q_{DSCt} = \frac{\int_{t_i}^{t_f} P_{DSCt} dt}{\int_{t_i}^{t_f} P_{PVt} dt} \quad (4.26)$$

onde  $q_{DSC}$  traduz a taxa de Autoconsumo Direto no período  $[t_i, t_f]$  (*Direct self-consumption ratio*),  $P_{DSC}$  representa a potência gerada que é consumida diretamente no período  $[t_i, t_f]$  e  $P_{PV}$  a potência Fotovoltaica gerada no mesmo período.

Ao ser adicionado um banco de baterias ao sistema, a energia fotovoltaica autoconsumida irá aumentar pois o excesso de energia será direcionado e armazenado nas baterias com o intuito de ser usado mais tarde. Neste âmbito, a **taxa de Autoconsumo** define a quantidade de energia fotovoltaica que pode ser consumida localmente, utilizando ambos o sistema PV e o armazenamento, como uma percentagem da geração solar total [23]. O armazenamento permite tipicamente aumentar a quantidade de energia utilizada localmente.

Esta taxa é definida pelo ratio entre a energia fotovoltaica autoconsumida e a quantidade de energia fotovoltaica gerada [23] :

$$q_{Sct} = \frac{\int_{t_i}^{t_f} P_{Sct} dt}{\int_{t_i}^{t_f} P_{PVt} dt} \quad (4.27)$$



onde  $q_{Sct}$  traduz a taxa de Autoconsumo (*Self-consumption ratio*) no período  $[t_i, t_f]$  e  $P_{Sct}$  representa a potência fotovoltaica autoconsumida (diretamente e/ou proveniente de baterias) no mesmo período de tempo.

De forma a saber quanta necessidade energética consegue ser atendida pelo sistema de geração local, calcula-se o **grau de Autossuficiência**, que traduz o rácio entre a energia gerada que é autoconsumida e a energia total consumida pela instalação. A sua expressão matemática é dada pela seguinte fórmula [23] :

$$q_{st} = \frac{\int_{t_i}^{t_f} P_{Sct} dt}{\int_{t_i}^{t_f} P_{Load} dt} \quad (4.28)$$

onde  $q_{st}$  representa o Grau de Autossuficiência (*Self-sufficiency ratio*) no período  $[t_i, t_f]$ ,  $P_{Sct}$  representa a Potência fotovoltaica autoconsumida no período  $[t_i, t_f]$  e  $P_{Load}$  traduz a necessidade de carga total (*Load demand*) no mesmo período de tempo.

### 4.3.2. Estrutura dos Algoritmos Genéticos

Tendo em conta o possível trajeto dos veículos, foram utilizados algoritmos genéticos multiobjectivo para melhorar a alocação de blocos de carga (pelas estações de carregamento) ao longo do dia. Os objetivos do algoritmo é chegar a uma solução que permita: (1) a maximização dos parâmetros de Grau de Autossuficiência, (2) de Autoconsumo e (3) a minimização do payback.

De forma a saber quais os blocos de carga necessários a alocar ao longo do dia, são tidos em conta os hábitos de viagem dos veículos, que se determina serem conhecidos à priori através de um algoritmo de previsão. Ou seja, o algoritmo genético assume trajetos expectáveis para os diversos veículos nas horas subsequentes. As previsões desses trajetos podem de futuro vir a ser implementados utilizando diversos métodos de machine learning.

Os blocos em que o VE está a transitar entre postos, estão divididos em períodos de 15 minutos. O algoritmo tem como objetivo chegar ao final de um período de 24h com a mesma carga que tinha no início da simulação. Para tal tem que alocar os períodos do carregamento dos VE nos respetivos pontos de carga, maximizando a utilização da energia renovável, tendo em conta os custos de aquisição e venda de energia, e considerando todas as limitações do equipamento existente nas estações.

A Figura 4-61 apresenta a composição da estrutura das tramas que contêm o trajeto diário previsto dos VE.

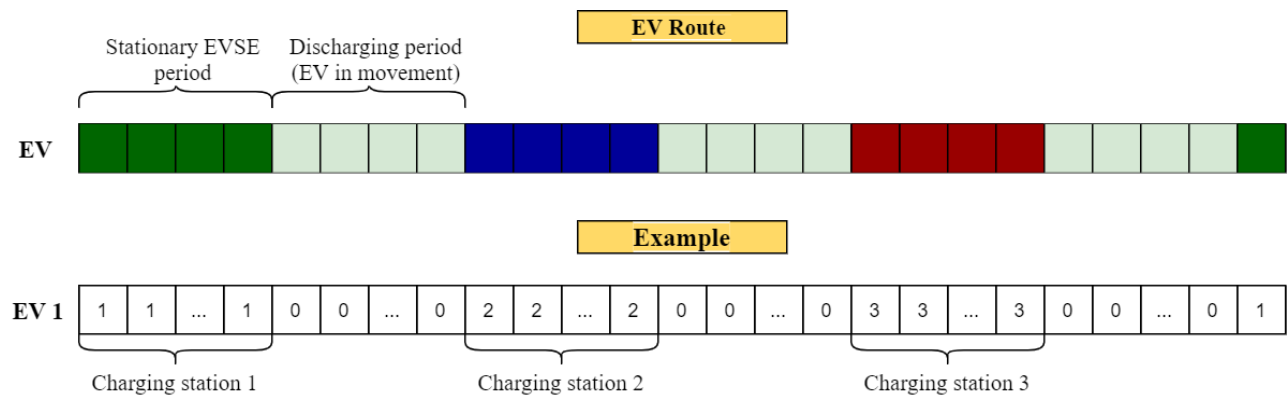


Figura 4-61- Estrutura da trama do trajeto dos VE

Os cromossomas são compostos pelos tempos iniciais em que são alocados os blocos de carregamento dos veículos elétricos em cada estação de carga pelas que passa.

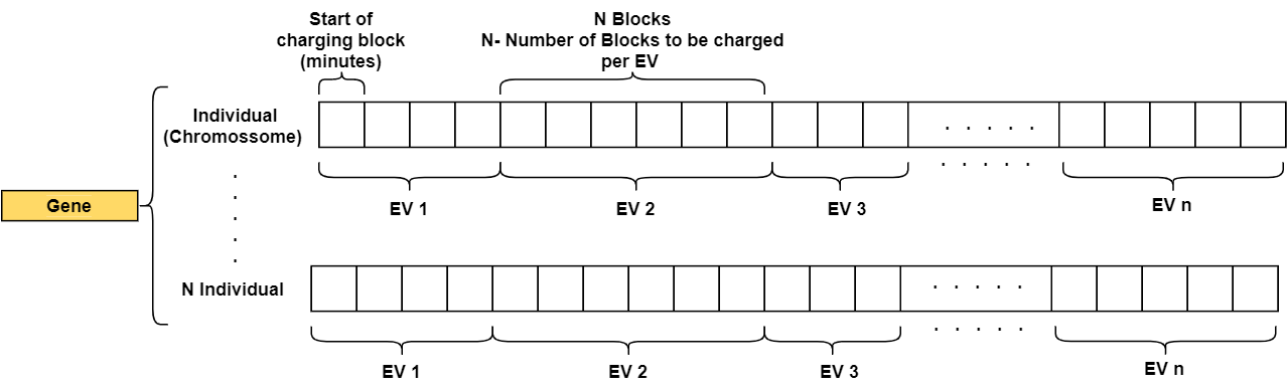
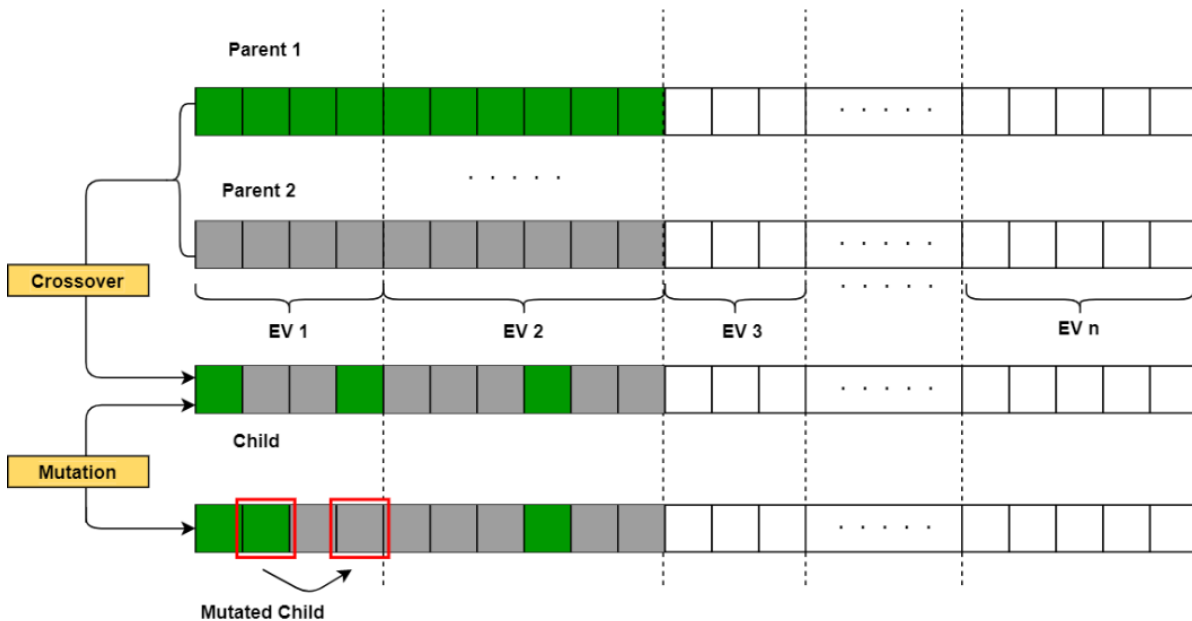


Figura 4-62-Estrutura dos cromossomas (cada Indivíduo)

O processo de crossover e mutação são efetuados conforme representado na Figura 4-63. Para efeitos de simulação a probabilidade de mutação foi definida com o valor de 2%.

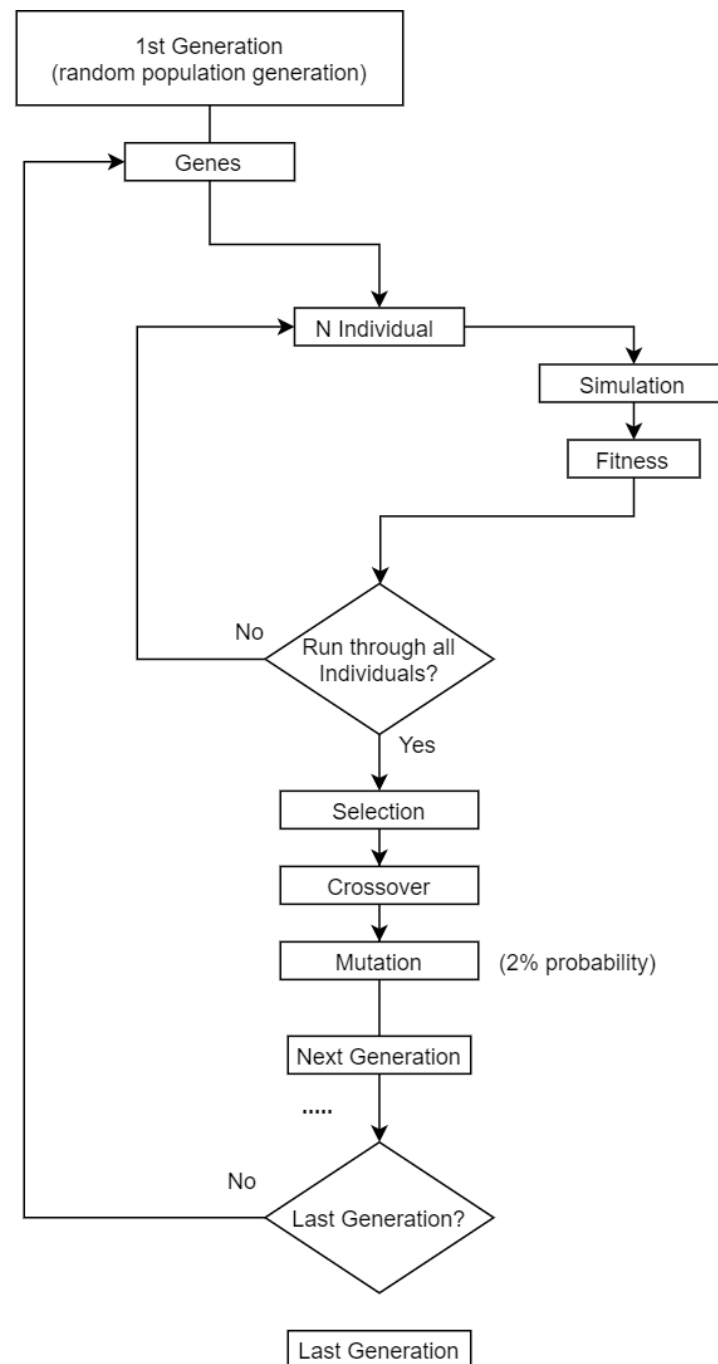


**Figura 4-63-** Processo de crossover e mutação

Na 1ª geração, é criada uma matriz com N indivíduos que representam N diferentes dinâmicas de alocação de blocos de carga ao longo do dia do nº de veículos elétricos pretendidos.

Após a avaliação da 1ª geração, através do cálculo dos parâmetros de avaliação alvo, tais como o Autoconsumo, Grau de Autossuficiência, diferentes funções de fitness são utilizadas. Essas funções combinam com diferentes pesos os parâmetros de avaliação, servindo posteriormente para efetuar a seleção dos melhores indivíduos. Após o descarte dos piores indivíduos da população, os remanescentes serão sujeitos a cruzamentos entre eles de modo a serem gerados indivíduos novos. Tendo por base o conceito evolutivo e com o fator de mutação em consideração, o objetivo de melhorar os parâmetros “alvo” é assim alcançado de geração em geração.

A figura seguinte apresenta o fluxograma do funcionamento do simulador.



**Figura 4-64-** Fluxograma funcionamento Simulador

Foram definidos quatro Rácio de Fitness, de modo a se obter os melhores indivíduos de cada rácio em cada geração, foram tidos como fatores de decisão os parâmetros do Grau de Autossuficiência e a taxa de Autoconsumo:

**Fitness 1-** Grau de Autossuficiência 100%, taxa de Autoconsumo 0%

**Fitness 2-** Grau de Autossuficiência 50%, taxa de Autoconsumo 50%

**Fitness 3-** Grau de Autossuficiência 0%, taxa de Autoconsumo 100%

Ao longo das gerações pretendem-se melhorar estes objetivos em paralelo. São por isso escolhidos os melhores indivíduos de cada grupo de Fitness mantendo-se até final da simulação os quatro grupos de indivíduos, teremos assim como output uma maior dinâmica dos indivíduos selecionados.

### 4.3.3. Condições de Teste do Simulador

Neste sub-capítulo serão apresentadas as condições de teste impostas ao simulador. Em todas as simulações forma consideradas três estações de carga de veículos elétricos. Todos os veículos elétricos começam o dia no mesmo posto de carregamento (definido como 1), considerado o ponto inicial de recolha para aluguer, e no fim do dia são entregues no mesmo posto. Durante o dia os veículos elétricos podem circular entre os outros dois postos.

Em relação ao Veículo Elétrico, no âmbito do projeto TTUES [25], foi escolhido como elemento de teste o ciclomotor L2e-U (SOBIC LIGHT) [26], apresentado na Figura 4-65, desenvolvido pelo parceiro do projeto Passion Motorbike, com as seguintes características técnicas (na Tabela 4.11) [27]:



Figura 4-65-Ciclomotor L2e-U

Tabela 4.11-Caraterísticas técnicas Ciclomotor

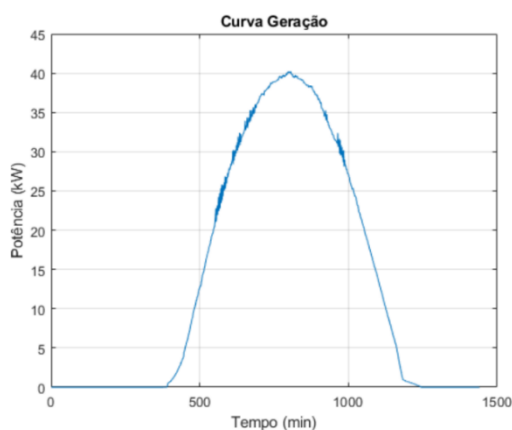
| Caraterísticas técnicas |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| Tensão Nominal          | 74 V                  |
| Capacidade              | 7 kWh (Bateria Lítio) |
| Tipo de carregador      | <i>On board</i>       |
| Tensão e carga          | 110-240V              |
| Tempo de carga          | < 8h                  |
| Ciclos de vida          | 2000                  |

Foi criada uma classe Bateria (tendo em conta o modelo apresentado na Figura 4-1) utiliza como valores de referência a capacidade em Amperes-hora que foi obtida a partir da capacidade máxima em kWh através da fórmula:

$$C_{Ah} = \frac{C_{kWh} * 1000}{V_{bat}} \quad [Ah] \quad (3.1)$$

onde  $C_{kWh}$  corresponde à capacidade da bateria em kWh,  $V_{bat}$  representa a tensão nominal e  $C$  representa a capacidade em Ah da bateria, resultando em  $C_{Ah} = 94,59 Ah$ .

Em relação à geração fotovoltaica, foi considerada e utilizada uma curva de geração correspondente ao sistema fotovoltaico existente no Instituto Superior de Engenharia, da Universidade do Algarve (edifício em “U”), cujos dados são relativos ao dia 21 de junho de 2020, que corresponde ao dia seguinte do solstício de verão. O sistema instalado tem uma potência de cerca de 54 kWp (172 painéis de 315Wp). Para efeitos de simulação considerou-se uma instalação de aproximadamente 1,8 kWp, cuja curva de geração para o mesmo dia corresponderá a 1/30 da curva de geração do sistema existente na Universidade do Algarve. A curva referida é apresentada na Figura 4-66.



**Figura 4-66**-Curva geração ISE

Os registos dos níveis de geração ao longo do ano mostram que a central fotovoltaica (incluindo os módulos, inversores e cablagem) acima referida produz um pico de potência aproximadamente igual a 40 kW, o que corresponde a uma eficiência de cerca de 74% por comparação com a potência de pico instalada. Em relação ao controlador de carga da bateria, foi considerada uma eficiência de 90%.

Para quantificar a poupança e/ou custo (em €) para o fornecedor ou para o utilizador, é necessário ter em conta os tarifários.

De forma a quantificar o custo da energia adquirida, teve-se em conta tarifas tri-horárias referentes a junho de 2019 da empresa Iberdrola [28], apresentadas na Tabela 4.12. Parte-se do princípio que, sendo posta ao dispor do utilizador potência

gerada, se está a poupar ao não comprar à rede de distribuição. Uma vez que a bateria interna carrega apenas com geração local, considera-se que a energia carregada nas mesmas seja uma poupança igual ao custo que decorreria de adquirir essa mesma energia ao operador de distribuição. Esta geração poupada poderá ser utilizada em alturas de não geração com vista a carga dos VE. Contudo apenas se considera esse lucro uma vez, aquando da carga da bateria local.

**Tabela 4.12-** Tabela de preço de tarifários Iberdrola

| Ciclo horário     |       | Preço de Iberdrola         |
|-------------------|-------|----------------------------|
|                   |       | Tarifa tri-horária (€/kWh) |
| <b>Fora Vazio</b> | Ponta | 0,0681                     |
|                   | Cheia | 0,0638                     |
| <b>Vazio</b>      |       | 0,0533                     |

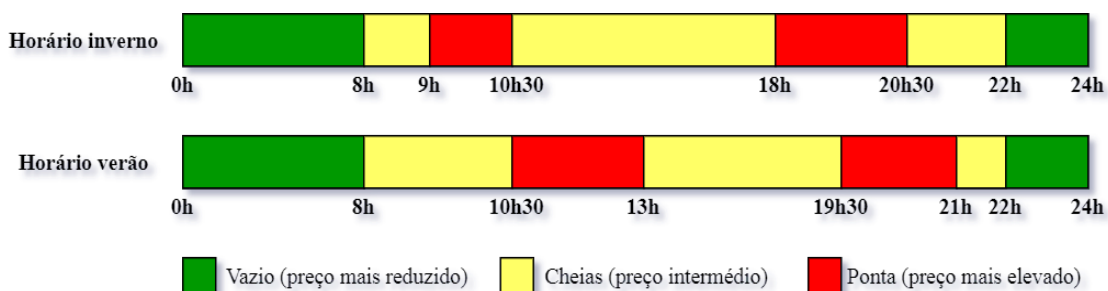
De forma a obter o valor cobrado aos clientes do posto de carregamento, teve-se como referência as tarifas aplicadas pela empresa GALP para os postos de carga associados [29], apresentadas na Tabela 4.13.

**Tabela 4.13-** Tabela de preços GALP com IVA (com tarifas de acesso)

| Ciclo horário     |       | Preço de referência Galp   |
|-------------------|-------|----------------------------|
|                   |       | Tarifa tri-horária (€/kWh) |
| <b>Fora Vazio</b> | Ponta | 0,2377                     |
|                   | Cheia | 0,2289                     |
| <b>Vazio</b>      |       | 0,1575                     |

Em termos de tarifários, optou-se pelo ciclo diário, dividido em horário de inverno e horário de verão, tal como apresentado na Figura 4-67.





**Figura 4-67**-ciclo diário (verão começa no último domingo de março; inverno começa no último domingo de outubro)

Para efeitos de contabilização de lucro de venda de energia à rede de distribuição, utilizou-se um valor de 3 cêntimos por kWh vendido.

Como caso de estudo utilizaram-se os parâmetros da classe bateria dos Veículos Elétricos apresentados na tabela 4.14 e da classe bateria do armazenamento local apresentado na Tabela 4.15:

**Tabela 4.14**-Parâmetros entrada Classe Bateria-Veículos Elétricos

| Parâmetros<br>(classe Bateria) | Valores                  |
|--------------------------------|--------------------------|
| $C_{bt}$                       | 94,58 Ah                 |
| $C_{out}$                      | 85 Ah                    |
| $V_{bt,0}$                     | 74V                      |
| $K_{bt}$                       | 0,006215V*               |
| $A_{bt}$                       | 11,053V*                 |
| $B_{bt}$                       | 2,452 Ah <sup>-1</sup> * |
| $R_i$                          | 0,07 Ω*                  |

**Tabela 4.15-**Parâmetros entrada Classe Bateria- Armazenamento Local

| Parâmetros<br>(classe Bateria) | Valores                  |
|--------------------------------|--------------------------|
| $C_{bt}$                       | 96,94 Ah (5kWh)          |
| $C_{out}$                      | 48,47 Ah (50% SoC)       |
| $V_{bt,0}$                     | 51,58V                   |
| $K_{bt}$                       | 0,006215V*               |
| $A_{bt}$                       | 11,053V*                 |
| $B_{bt}$                       | 2,452 Ah <sup>-1</sup> * |
| $R_i$                          | 0,07 $\Omega$ *          |

#### 4.3.4. Teste inicial ao Simulador

Como teste inicial, exemplifica-se a execução de uma geração do algoritmo genético, com os parâmetros apresentados na Tabela 4.16:

**Tabela 4.16-** Parâmetros utilizados na 1ª simulação

| Parâmetros                |    |
|---------------------------|----|
| Nº Indivíduos             | 30 |
| Nº Máximo de Gerações     | 1  |
| Mutação                   | 2% |
| Nº Veículos Elétricos     | 15 |
| Nº Postos de carga (EVSE) | 3  |

Após a inserção de todos os dados necessários à simulação, obtêm-se os parâmetros: Dinâmica de Estado de Carga (SoC) de cada VE, Dinâmica de Estado

de Carga (SoC) de cada sistema de armazenamento local por Posto de Carga, Parâmetros de Avaliação referidos na Secção 4.3.1.3.

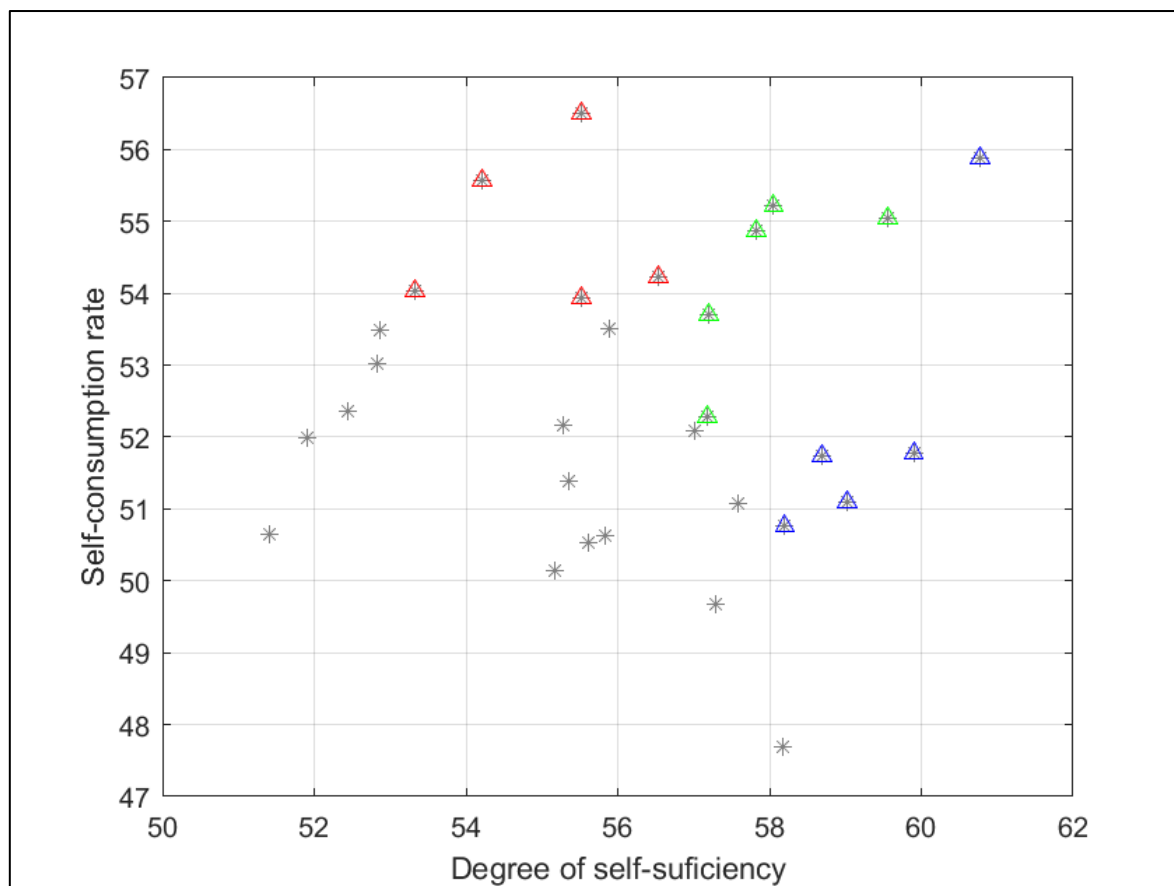
```

*****
Valor COMPRADO À REDE PELA ESTAÇÃO 1 = 0.454 €
Valor COMPRADO À REDE PELA ESTAÇÃO 2 = 0.273 €
Valor COMPRADO À REDE PELA ESTAÇÃO 3 = 0.206 €
*****
Valor POUPADO PELA ESTAÇÃO COM PV 1 = 0.313 €
Valor POUPADO PELA ESTAÇÃO COM PV 2 = 0.395 €
Valor POUPADO PELA ESTAÇÃO COM PV 3 = 0.185 €
*****
Valor VENDIDO À REDE PELA ESTAÇÃO 1 = 0.134 €
Valor VENDIDO À REDE PELA ESTAÇÃO 2 = 0.139 €
Valor VENDIDO À REDE PELA ESTAÇÃO 3 = 0.144 €
*****
Payback Renovavel do posto 1 (em anos): 19.765
Payback Renovavel do posto 2 (em anos): 7.287
Payback Renovavel do posto 3 (em anos): 11.823
*****
Payback Infra-estrutura do posto 1 (em anos): 0.305
Payback Infra-estrutura do posto 2 (em anos): 0.304
Payback Infra-estrutura do posto 3 (em anos): 0.308
Autoconsumo direto do posto 1 (em %): 54.967 %
Autoconsumo direto do posto 2 (em %): 57.737 %
Autoconsumo direto do posto 3 (em %): 39.263 %
Grau de autossuficiência-> 51.416703%Fitness feito

```

**Figura 4.68-**Outputs do simulador

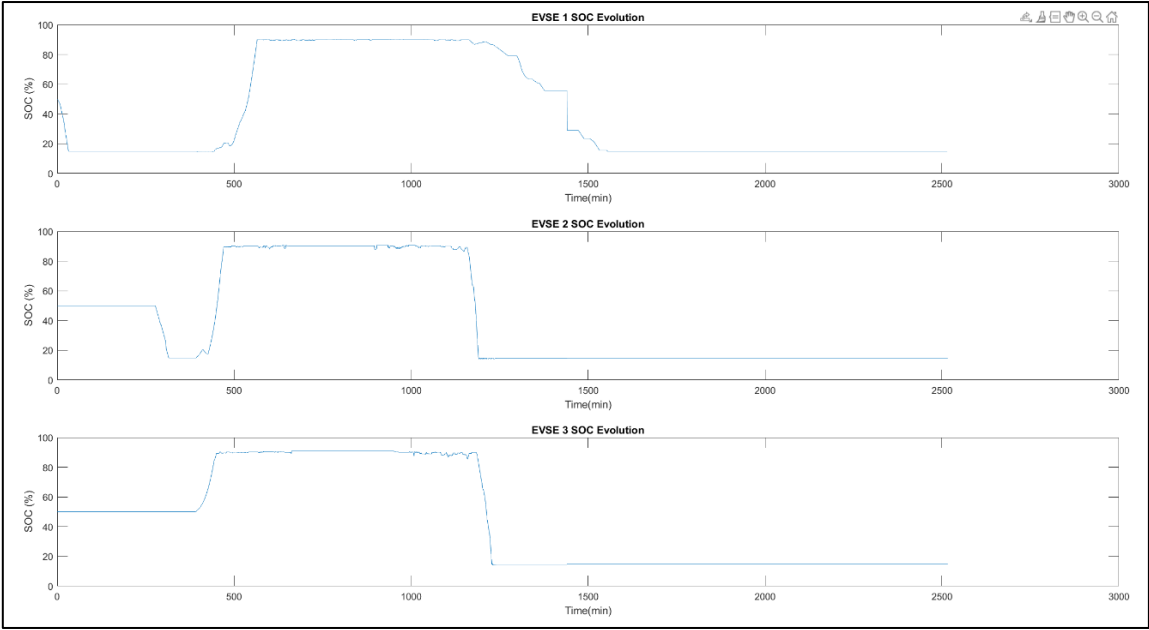
Na Figura 4.68 estão representados os resultados que o simulador apresentou após simular cada indivíduo. Na Figura 4.69 encontram-se representados os rácios de Fitness (em função da taxa de Autoconsumo e do Grau de Autossuficiência) dos 30 indivíduos, contudo, é feita apenas a seleção de metade dessa população (15 indivíduos), em que se mantém os 2 melhores indivíduos de cada um dos Fitness: 1, 2 e 3 (representados a verde, azul e vermelho).



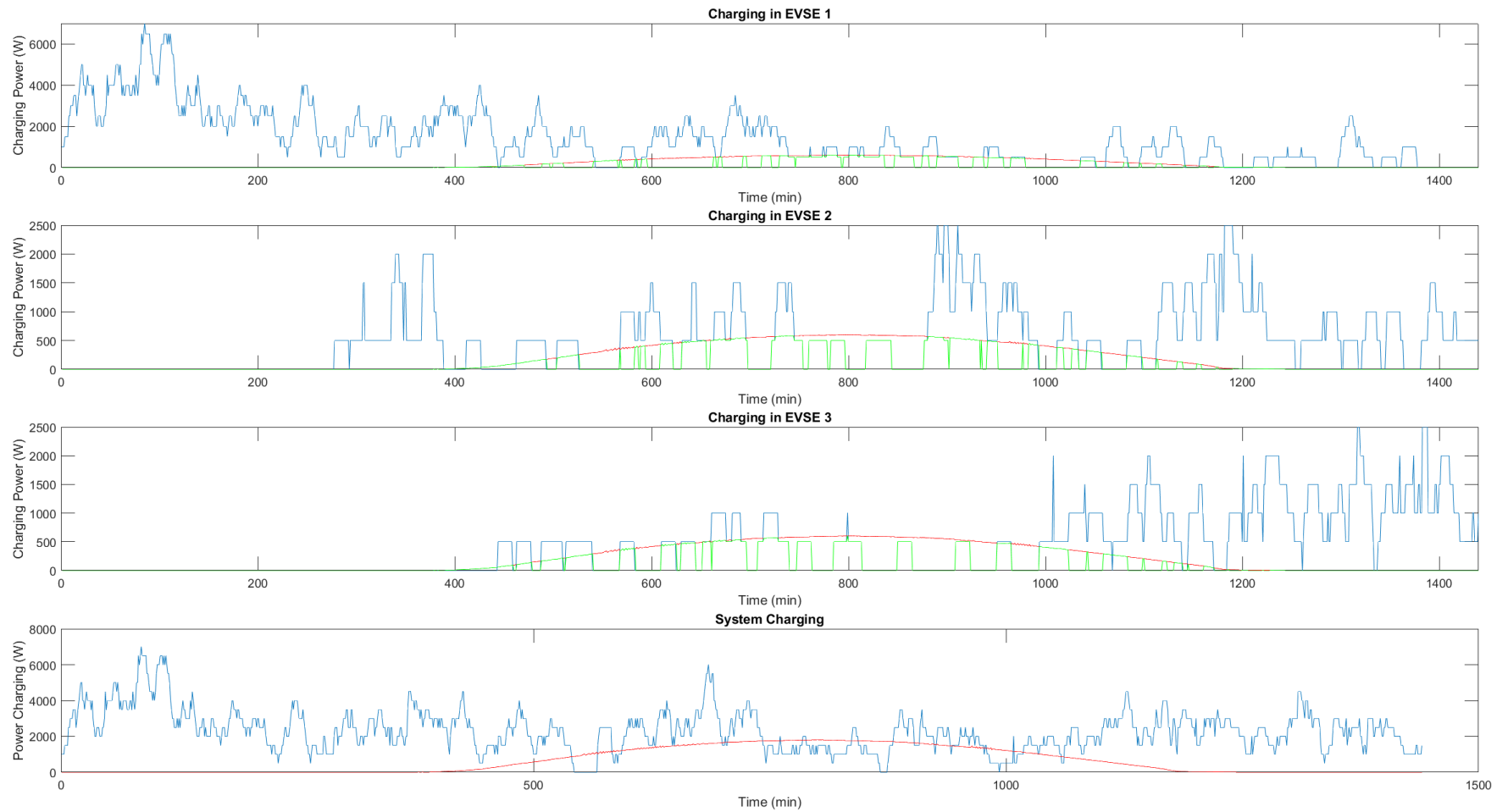
**Figura 4.69-**Representação dos 3 tipos de Fitness, a verde Fitness 1, a azul Fitness 2, vermelho Fitness 3

Na Figura 4.70 encontra-se representada a dinâmica do estado de carga das baterias dos VE ao longo do dia de aluguer. A representação gráfica do estado de carga quando se encontra: (a) Descendente: Alturas em que o VE se encontrava em trânsito (em movimento); (b) Ascendente: Tempo de carregamento em posto de carga; (c) Constante: Veículo parado/estacionado.

Na **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** está representada a variação do estado de carga dos sistemas de armazenamento locais dos postos de carga. Quando a variação gráfica representada é descendente, VE estão no sistema à carga. Quando ascendente, significa que as baterias estão a carregar.



**Figura 4.70-** Evolução do SoC das unidades de armazenamento local por EVSE



**Figura 4.71-** Autoconsumo ao longo do dia por EVSE (alocação de cargas e PV), 30 Indivíduos, 1 Geração

Na Figura 4.71, encontram-se representados todos os blocos de carga dos VE do sistema em função da curva de geração fotovoltaica de cada posto de carga. É possível verificar que no Posto de carga 3 é feito um aproveitamento da energia de geração bom, , contudo, é de notar a grande alocação feita ao fim do dia (devido às dinâmicas de trajeto diário). O mesmo não se verifica nos outros dois postos. O algoritmo requer por isso mais gerações.

#### 4.3.5. Simulação de Cenário completo

Os resultados seguintes dizem respeito à simulação de um maior número de veículos elétricos e de gerações dos algoritmos genéticos, tal como apresentado na tabela:

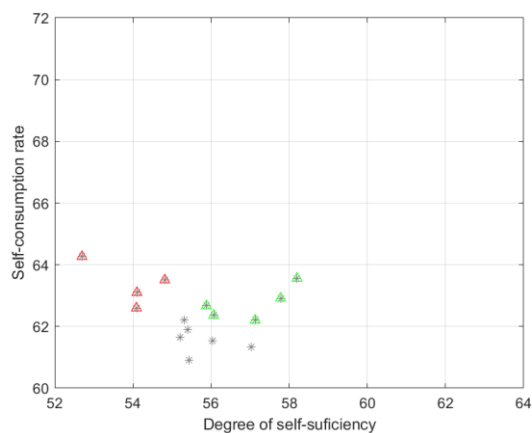
**Tabela 4.17-** Parâmetros utilizados na 2ª simulação

| Parâmetros                |     |
|---------------------------|-----|
| Nº Indivíduos             | 30  |
| Nº Máximo de Gerações     | 100 |
| Mutação                   | 2%  |
| Nº Veículos Elétricos     | 15  |
| Nº Postos de carga (EVSE) | 3   |

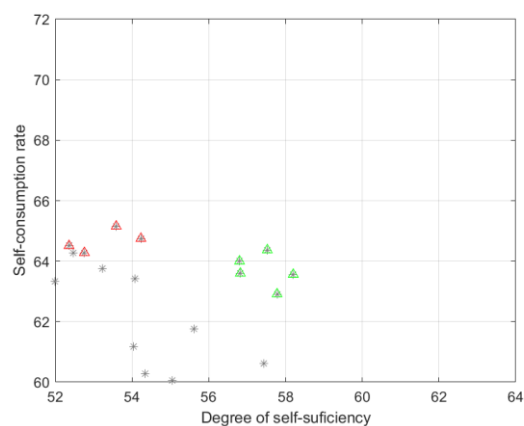
Na Figura 4.72 é possível ver a variação e consequente otimização dos indivíduos tendo em conta o seu Fitness ao longo das Gerações.

É possível notar a “movimentação” dos pontos representando os indivíduos tendencialmente para o canto superior direito dos dois eixos, o que significa que está a haver uma maximização dos dois parâmetros-objetivo (taxa de Autoconsumo e o Grau de Autossuficiência). Na Figura 4.73 é apresentado o gráfico geral da alocação

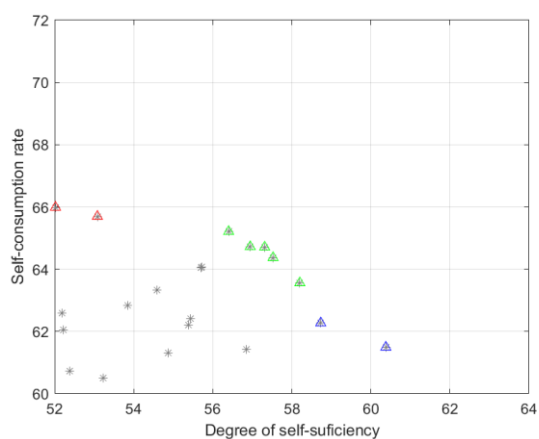
de todos os blocos de carga de todos os VE em função da geração fotovoltaica de cada estação de carga.



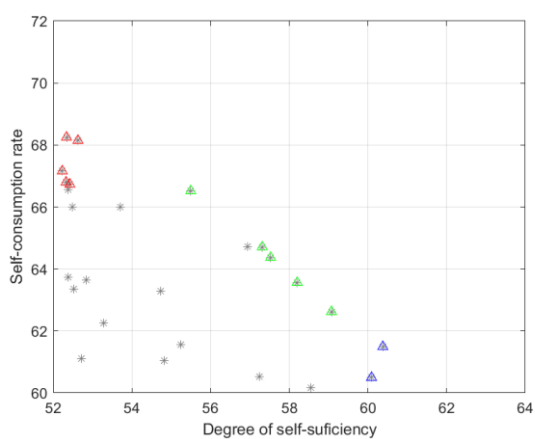
**(a) 10ª Geração**



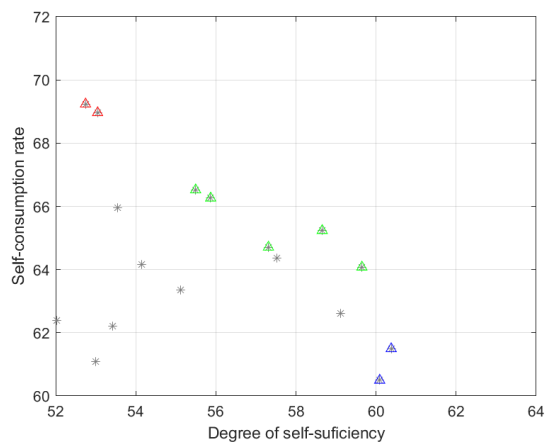
**(b) 20ª Geração**



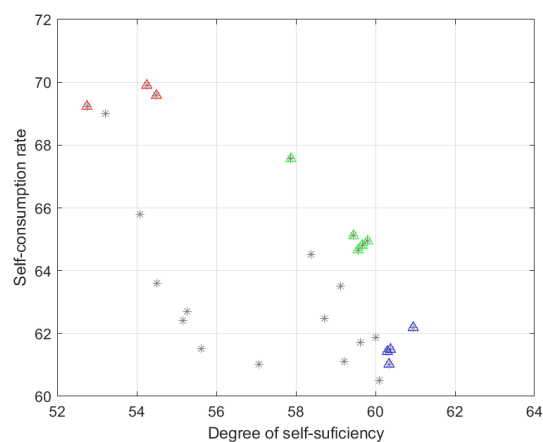
**(c) 30ª Geração**



**(d) 40ª Geração**

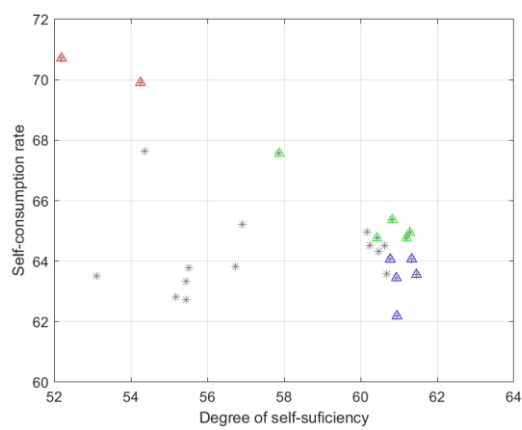


**(e) 50ª Geração**

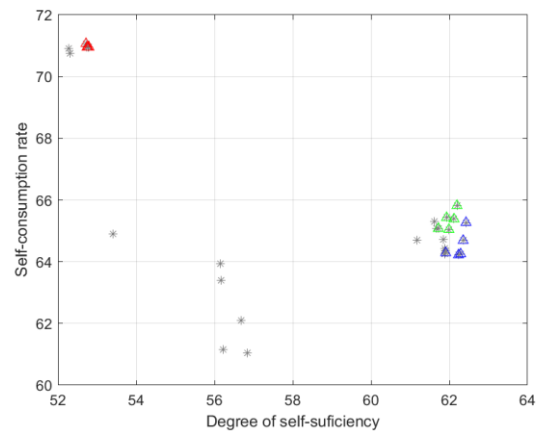


**(f) 60ª Geração**

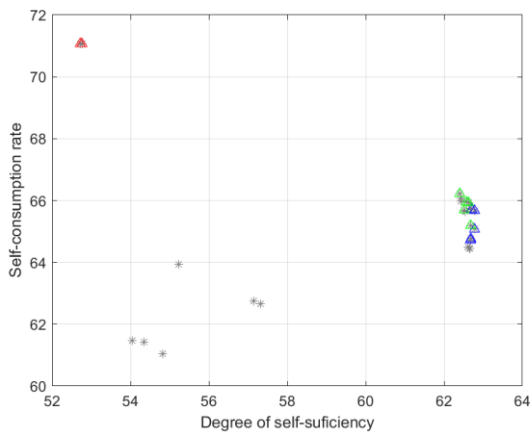




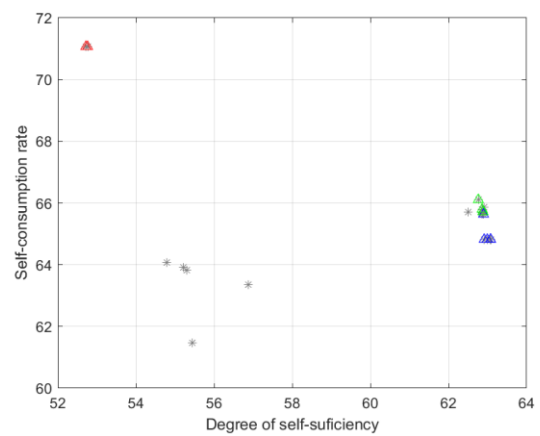
**(g) 70ª Geração**



**(h) 80ª Geração**

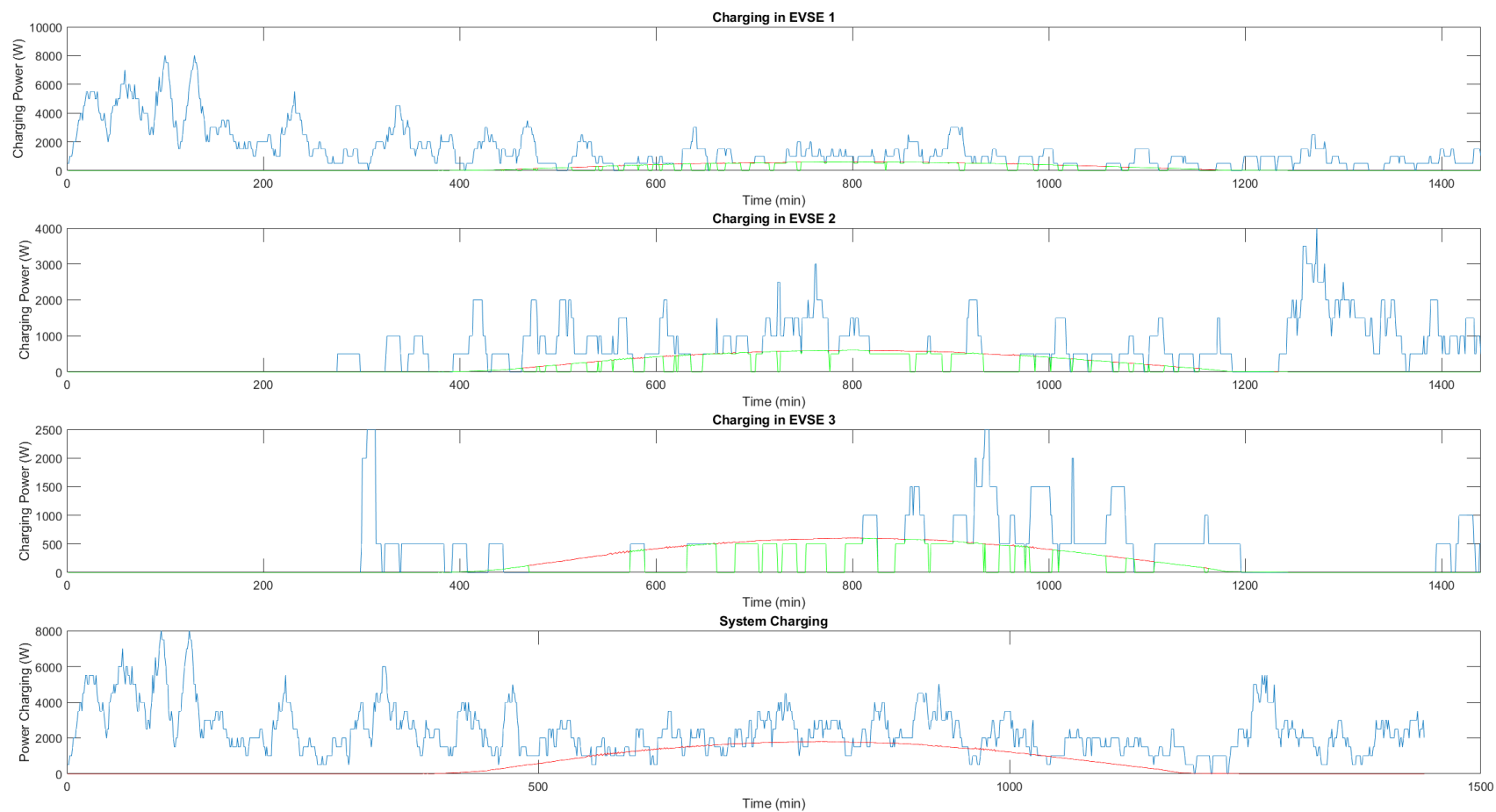


**(i) 90ª Geração**



**(j) 100ª Geração**

**Figura 4.72-** Representação de Fitness por geração



**Figura 4.73-** Autoconsumo resultante da 100<sup>a</sup> Geração, com consumos ao longo do dia por EVSE (alocação de cargas e PV), 30 Indivíduos

#### 4.3.5.1. Análise de Resultados

Na Figura 4.73 é apresentado o gráfico geral da alocação de todos os blocos de carga de todos os VE em função da geração fotovoltaica de cada estação de carga, sendo que o último gráfico tem em conta todas as alocações de carga e toda a geração solar fotovoltaica do sistema.

Nas horas anteriores à geração solar existe uma grande necessidade energética. Sendo que todos os VE começam o dia no mesmo posto de carga 1 (considerado o ponto inicial de recolha para aluguer), no início do dia existe uma grande demanda por carga nesse posto. Essa demanda faz com que a unidade de armazenamento local alcance valores mínimos de estado de carga rapidamente, o que faz com que se tenha de adquirir energia da rede de distribuição.

De grosso modo, os resultados obtidos nas alocações das cargas nas alturas de geração fotovoltaica mostram que a potência de geração consegue suprir a maioria da demanda energética nesses instantes, ainda que existam alturas em que não se efetua o melhor aproveitamento, desperdiçando geração.

Foram alocados vários blocos no fim da curva de geração, quando esta é insuficiente para os carregamentos solicitados. Esta alocação seria ideal mais tarde em alturas em que a tarifa horária é mais baixa, contudo, o trajeto dos VE não permite que haja essa dinâmica, sendo esta a melhor das soluções alocadas pelo simulador em 100 Gerações.

**Tabela 4.18-** Comparação de valores de Parâmetros (1<sup>a</sup> e 100<sup>a</sup> Geração)

| Parâmetro                    | Valor 1 <sup>a</sup> Geração | Valor 50 <sup>a</sup> Geração | Melhoria |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------|
| Payback Renovável [anos]     | 8.00                         | 6.80                          | 15%      |
| Taxa de Autoconsumo [%]      | 60.53                        | 76.43                         | 26.2%    |
| Grau de Autossuficiência [%] | 58.20                        | 72.99                         | 25.4%    |

Verifica-se na Tabela 4.18 uma melhoria nos parâmetros que permitem avaliar o sistema, podendo-se concluir que as alocações dos carregamentos utilizando os algoritmos genéticos permitem melhorar o funcionamento geral do sistema. As melhorias são ainda assim pouco expressivas. O custo das baterias para os sistemas de armazenamento local é um fator de grande expressão na obtenção do Payback, o facto de estas terem um valor monetário elevado torna também o Payback na ordem dos valores obtidos, principalmente no posto 1. É possível obter melhores resultados utilizando mais gerações, mas têm de ser tidos em conta as restrições que há na realocação dos blocos de cargas. A maior restrição verifica-se no trajeto do veículo ao longo de todo o período de aluguer (é feita a sua previsão no início da simulação) que não permite muita flexibilidade dos períodos de carregamento, pois só se podem fazer nos momentos em que os veículos estão na estação. Tendo em conta o mapa geral de alocações, um aumento da potência de pico do sistema fotovoltaico nos postos, permitiria uma melhoria na taxa de autoconsumo e grau de autossuficiência. De salientar que embora no início do dia se tenha de recorrer à rede de distribuição, não se considera imperativo o aumento da capacidade das unidades de bateria interna das estações pois verificou-se que as mesmas têm um impacto considerável nos custos e por consequência nos anos de payback renovável.

## ANEXOS

### A. Parâmetros de Monitorização

#### *Painel Fotovoltaico*

Os seguintes parâmetros dizem respeito aos painéis fotovoltaicos.

| Nome            | Significado   | Unidade             | Tipo             |
|-----------------|---|---------------------|------------------|
| $P_{RAD}$       | Potência irradiada pelo sol                         | Watt (W)            | Double (8 bytes) |
| $P_{DC_{in}}$   | Potência de saída painel (entrada controlador MPPT) | Watt (W)            | Double (8 bytes) |
| $P_{DC1_{BUS}}$ | Potência de saída controlador MPPT                  | Watt (W)            | Double (8 bytes) |
| $E_{total}$     | Energia de geração total                            | KiloWatt-hora (kWh) | Double (8 bytes) |

#### *Conversor de carga DC2*

Os seguintes parâmetros dizem respeito à conversão de carga DC2 que interliga o barramento DC à unidade de baterias de lões de Lítio interna da estação.

| Nome            | Significado         | Unidade  | Tipo             |
|-----------------|---------------------|----------|------------------|
| $P_{DC2_{BUS}}$ | Potência de entrada | Watt (W) | Double (8 bytes) |
| $P_{BAT_{IN}}$  | Potência de saída   | Watt (W) | Double (8 bytes) |

#### *Sistema de Armazenamento*

Os seguintes parâmetros dizem respeito ao sistema de armazenamento do posto de carga.

| Nome          | Significado                  | Unidade              | Tipo             |
|---------------|------------------------------|----------------------|------------------|
| $P_{BAT\_IN}$ | Potência de entrada          | Watt (W)             | Double (8 bytes) |
| $I_{bt}$      | Corrente de saída da Bateria | Ampere (A)           | Double (8 bytes) |
| $V_{bat}$     | Tensão da Bateria            | Volt (V)             | Double (8 bytes) |
| $C_{Atual}$   | Capacidade atual             | Ampere-hora (Ah)     | Double (8 bytes) |
| $C_{out}$     | Capacidade extraída          | Ampere-hora (Ah)     | Double (8 bytes) |
| $SOC$         | Estado de carga              | Porcentagem 0-100(%) | Double (8 bytes) |

### Inversor

Os seguintes parâmetros dizem respeito ao inversor que permitirá a transferência de potência entre o barramento DC e o barramento AC, para carregamento AC dos veículos elétricos.

| Nome           | Significado         | Unidade  | Tipo             |
|----------------|---------------------|----------|------------------|
| $P_{BUS\_INV}$ | Potência de entrada | Watt (W) | Double (8 bytes) |
| $P_{INV\_AC}$  | Potência de saída   | Watt (W) | Double (8 bytes) |

### Carregamento DC

Nesta seção tem-se em conta opção de carga DC.

### Conversor de carga DC

Os seguintes parâmetros dizem respeito ao conversor de carga DC.

| Nome             | Significado         | Unidade  | Tipo             |
|------------------|---------------------|----------|------------------|
| $P_{BUS\_DC3}$   | Potência de entrada | Watt (W) | Double (8 bytes) |
| $P_{DC3\_EVbat}$ | Potência de saída   | Watt (W) | Double (8 bytes) |

*Carregamento AC*

O parâmetro seguinte diz respeito ao produto final do carregamento AC (à saída do inversor).

| Nome     | Significado               | Unidade  | Tipo             |
|----------|---------------------------|----------|------------------|
| $P_{EV}$ | Potência de entrada do VE | Watt (W) | Double (8 bytes) |

*Vertente Híbrida*

Nesta secção tem-se em conta a ligação à rede elétrica de baixa tensão e/ou V2G AC.

*Smart Meter*

O parâmetro seguinte diz respeito à potência originária/destinatária da rede.

| Nome       | Significado          | Unidade  | Tipo             |
|------------|----------------------|----------|------------------|
| $P_{GRID}$ | Potência origem rede | Watt (W) | Double (8 bytes) |

*Conversor de carga AC*

Os parâmetros seguintes dizem respeito ao conversor de carga AC, que permite a injeção de potência no sistema.

| Nome           | Significado         | Unidade  | Tipo             |
|----------------|---------------------|----------|------------------|
| $P_{AC\_CON}$  | Potência de entrada | Watt (W) | Double (8 bytes) |
| $P_{CON\_BUS}$ | Potência de saída   | Watt (W) | Double (8 bytes) |

## B. Parâmetros de carregamento trocados entre o equipamento de carga e veículo elétrico, de acordo com o protocolo de comunicação ISO 15118

De forma a trocar informação relativa ao carregamento foi utilizado como recurso a biblioteca open-source RISEV2G. Com base nestas informações trocadas entre o EVCC e o SECC são definidos os parâmetros de carregamento apresentados nos subcapítulos 0, 0, 0 e 0. Os parâmetros apresentados são alguns dos mais relevantes para o caso em estudo, e aqueles que a biblioteca permite controlar.

### *Parâmetros para carregamento DC disponibilizados pelo veículo elétrico ao equipamento de carga*

Consistem nos parâmetros que o veículo elétrico disponibiliza ao equipamento de carga quando estabelecida uma sessão de comunicação no modo de transferência de energia DC e segundo o protocolo de comunicação da ISO 15118.

#### *EVCCID*

Este parâmetro diz respeito ao identificador do controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC). Na biblioteca open-source RISEV2G este parâmetro assume o valor do endereço MAC do dispositivo usado para fazer o controlo de comunicação do veículo elétrico. Cada veículo elétrico deverá ter o seu respetivo identificador. Este elemento é trocado nas mensagens *V2G SessionSetupReq* e *PowerDeliveryReq*.

| Nome          | Unidade | Tipo              | Frequência transmissão |
|---------------|---------|-------------------|------------------------|
| <b>EVCCID</b> | -       | String (12 bytes) | Início do carregamento |



*EVMaximumCurrentLimit*

Este parâmetro diz respeito ao valor limite máximo de corrente aceite pelo veículo elétrico para carregamento DC. Este elemento é trocado nas mensagens V2G *ChargeParameterDiscoveryReq* e *CurrentDemandReq*.

| Nome                         | Unidade | Tipo            | Frequência Transmissão          |
|------------------------------|---------|-----------------|---------------------------------|
| <b>EVMaximumCurrentLimit</b> | A       | Short (2 bytes) | Início e durante o carregamento |

*EVMaximumVoltageLimit*

Este parâmetro diz respeito ao valor limite máximo de tensão aceite pelo veículo elétrico para carregamento DC. Este elemento é trocado nas mensagens V2G *ChargeParameterDiscoveryReq* e *CurrentDemandReq*.

| Nome                         | Unidade | Tipo            | Frequência Transmissão          |
|------------------------------|---------|-----------------|---------------------------------|
| <b>EVMaximumVoltageLimit</b> | V       | Short (2 bytes) | Início e durante o carregamento |

*EVMaximumPowerLimit*

Este parâmetro diz respeito ao valor limite máximo de potência aceite pelo veículo elétrico para carregamento DC. Este elemento apenas é trocado na mensagem V2G *CurrentDemandReq*.

| Nome                       | Unidade | Tipo            | Frequência Transmissão |
|----------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVMaximumPowerLimit</b> | W       | Short (2 bytes) | Durante o carregamento |

*EVEnergyRequest*

Este parâmetro diz respeito ao valor da quantidade de energia solicitada pelo veículo elétrico para carregamento DC. Este elemento apenas é trocado na mensagem V2G *ChargeParameterDiscoveryReq*.

| Nome                   | Unidade | Tipo            | Frequência Transmissão |
|------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVEnergyRequest</b> | Wh      | Short (2 bytes) | Início do carregamento |

### *EVRESSSOC*

Este parâmetro diz respeito ao valor do estado de carga da bateria do veículo elétrico (*State of Charge*, SoC). Este elemento é trocado nas mensagens V2G *ChargeParameterDiscoveryReq*, *PowerDeliveryReq*, *CableCheckReq*, *PreChargeReq*, *CurrentDemandReq* e *WeldingDetectionReq*.

| Nome             | Unidade | Tipo           | Frequência transmissão          |
|------------------|---------|----------------|---------------------------------|
| <b>EVRESSSOC</b> | %       | Byte (2 bytes) | Início e durante o carregamento |

### *ChargingProgress*

Este parâmetro diz respeito ao estado do progresso de carga, que pode conter o valor “Start” para o início de carregamento, o valor “Renegotiate” para a renegociação de tarifas e / ou agendamento de carga, e o valor “Stop” para o fim do carregamento. Este elemento apenas é trocado na mensagem V2G *PowerDeliveryReq*.

| Nome                    | Unidade | Tipo              | Frequência transmissão          |
|-------------------------|---------|-------------------|---------------------------------|
| <b>ChargingProgress</b> | -       | String (12 bytes) | Início e durante o carregamento |

### *EVTargetVoltage*

Este parâmetro diz respeito ao valor da tensão que o veículo elétrico pretende que o EVSE carregue as suas baterias. O EVSE irá ajustar o valor da sua tensão para o valor deste parâmetro, que é trocado nas mensagens V2G *PreChargeReq* e *CurrentDemandReq*.

| Nome                   | Unidade | Tipo            | Frequência Transmissão |
|------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVTargetVoltage</b> | V       | Short (2 bytes) | Durante o carregamento |

### *EVTargetCurrent*

Este parâmetro diz respeito ao valor da corrente que o veículo elétrico pretende que o EVSE carregue as suas baterias. O EVSE irá ajustar o valor da sua corrente

para valor deste parâmetro, que é trocado nas mensagens V2G *PreChargeReq* e *CurrentDemandReq*.

| Nome                   | Unidade | Tipo            | Frequência Transmissão |
|------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVTargetCurrent</b> | A       | Short (2 bytes) | Durante o carregamento |

### *RemainingTimeToFullSOC*

Este parâmetro diz respeito ao valor do tempo restante para o carregamento completo da bateria do veículo elétrico, e apenas é trocado na mensagem V2G *CurrentDemandReq*.

| Nome                          | Unidade | Tipo            | Frequência Transmissão |
|-------------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>RemainingTimeToFullSOC</b> | s       | Short (2 bytes) | Durante o carregamento |

### *RemainingTimeToBulkSOC*

Este parâmetro diz respeito ao valor do tempo restante para o processo de carregamento rápido da bateria do veículo elétrico. O processo de carregamento rápido das baterias do veículo elétrico vai até cerca de 80% do estado de carga da bateria, sendo os outros 20% carregados em processo lento. Este elemento apenas é trocado na mensagem V2G *CurrentDemandReq*.

| Nome                          | Unidade | Tipo            | Frequência Transmissão |
|-------------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>RemainingTimeToBulkSOC</b> | s       | Short (2 bytes) | Durante o carregamento |

### *ChargingComplete*

Este parâmetro diz respeito ao indicador de carregamento completo e apenas é trocado na mensagem V2G *CurrentDemandReq*.

| Nome                    | Unidade | Tipo            | Frequência Transmissão |
|-------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>ChargingComplete</b> | -       | Boolean (1 bit) | Durante o carregamento |

*BulkChargingComplete*

Este parâmetro diz respeito ao indicador de processo de carregamento rápido completo e apenas é trocado na mensagem V2G *CurrentDemandReq*.

| Nome                        | Unidade | Tipo            | Frequência Transmissão |
|-----------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>BulkChargingComplete</b> | -       | Boolean (1 bit) | Durante o carregamento |

*Parâmetros para carregamento AC disponibilizados pelo veículo elétrico ao equipamento de carga*

Consistem nos parâmetros que o veículo elétrico disponibiliza ao equipamento de carga quando estabelecida uma sessão de comunicação no modo de transferência de energia AC e segundo o protocolo de comunicação da ISO 15118.

*EVCCID*

Este parâmetro diz respeito ao identificador do controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC). Na biblioteca open-source RISEV2G este parâmetro assume o valor do endereço MAC do dispositivo usado para fazer o controlo de comunicação do veículo elétrico. Cada veículo elétrico deverá ter o seu respetivo identificador. Este elemento é trocado nas mensagens V2G *SessionSetupReq* e *PowerDeliveryReq*.

| Nome          | Unidade | Tipo              | Frequência transmissão |
|---------------|---------|-------------------|------------------------|
| <b>EVCCID</b> | -       | String (12 bytes) | Início do carregamento |

*EAmount*

Este parâmetro diz respeito ao valor da energia solicitada pelo veículo elétrico para carregamento AC, e apenas é trocado na mensagem V2G *ChargeParameterDiscoveryReq*.

| Nome           | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|----------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EAmount</b> | Wh      | Short (2 bytes) | Início do carregamento |

*EVMaxVoltage*

Este parâmetro diz respeito ao valor do limite máximo de tensão do veículo elétrico para carregamento AC, e apenas é trocado na mensagem V2G *ChargeParameterDiscoveryReq*.

| Nome                | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|---------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVMaxVoltage</b> | V       | Short (2 bytes) | Início do carregamento |

*EVMaxCurrent*

Este parâmetro diz respeito ao valor do limite máximo de corrente do veículo elétrico para carregamento AC, e apenas é trocado na mensagem V2G *ChargeParameterDiscoveryReq*.

| Nome                | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|---------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVMaxCurrent</b> | A       | Short (2 bytes) | Início do carregamento |

*EVMinCurrent*

Este parâmetro diz respeito ao valor do limite mínimo de corrente do veículo elétrico para carregamento AC, e apenas é trocado na mensagem V2G *ChargeParameterDiscoveryReq*.

| Nome                | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|---------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVMinCurrent</b> | A       | Short (2 bytes) | Início do carregamento |

### *Parâmetros para carregamento DC disponibilizados pelo equipamento de carga ao veículo elétrico*

Consistem nos parâmetros que o equipamento de carga disponibiliza ao veículo elétrico quando estabelecida uma sessão de comunicação no modo de transferência de energia DC e segundo o protocolo de comunicação da ISO 15118.

#### *SessionID*

Este parâmetro diz respeito ao identificador da sessão de comunicação. Na biblioteca open-source RISEV2G este parâmetro é gerado pelo ficheiro java V2GCommunicationSession. Começa por gerar um array com 8 bytes que depois converte para hexadecimal. Ex: [201 202 211 251 230 30 103 134] > [C9 CA D3 FB E6 1E 67 86] > "C9CAD3FBE61E6786". Cada sessão de comunicação deverá ter o seu respetivo identificador. Este elemento é trocado em todas as mensagens V2G.

| Nome             | Unidade | Tipo              | Frequência transmissão |
|------------------|---------|-------------------|------------------------|
| <b>SessionID</b> | -       | String (16 bytes) | Início do carregamento |

#### *EVSEID*

Este parâmetro diz respeito ao identificador do equipamento de carga e pode ser configurado no ficheiro java DummyACEVSEController da biblioteca open-source RISEV2G. Cada equipamento de carga deverá ter o seu respetivo identificador. Este elemento é trocado nas mensagens V2G *SessionSetupRes*, *MeteringReceiptRes* e *CurrentDemandRes*.

| Nome          | Unidade | Tipo              | Frequência transmissão |
|---------------|---------|-------------------|------------------------|
| <b>EVSEID</b> | -       | String (13 bytes) | Início do carregamento |

*EVSETimeStamp*

Este parâmetro diz respeito ao valor da marca temporal do início da sessão de comunicação. Na biblioteca open-source RISEV2G o valor deste parâmetro é gerado no ficheiro java WaitForSessionSetup, e utiliza a função System.currentTimeMillis() para retornar o valor em milissegundos desde 1 de janeiro de 1970. Este valor está dividido por 1000 de forma a ser apresentado em segundos. Este elemento é trocado nas mensagens V2G *SessionSetupRes* e *PaymentDetailsRes*.

| Nome                 | Unidade | Tipo           | Frequência transmissão |
|----------------------|---------|----------------|------------------------|
| <b>EVSETimeStamp</b> | s       | Long (8 bytes) | Início do carregamento |

*EVSEMaximumCurrentLimit*

Este parâmetro diz respeito ao valor do limite máximo de corrente aceite pelo EVSE para carregamento DC e é trocado nas mensagens V2G *ChargeParameterDiscoveryReq* e *CurrentDemandReq*.

| Nome                           | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão          |
|--------------------------------|---------|-----------------|---------------------------------|
| <b>EVSEMaximumCurrentLimit</b> | A       | Short (2 bytes) | Início e durante o carregamento |

*EVSEMaximumVoltageLimit*

Este parâmetro diz respeito ao valor do limite máximo de tensão aceite pelo EVSE para carregamento DC e é trocado nas mensagens V2G *ChargeParameterDiscoveryReq* e *CurrentDemandReq*.

| Nome                           | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão          |
|--------------------------------|---------|-----------------|---------------------------------|
| <b>EVSEMaximumVoltageLimit</b> | V       | Short (2 bytes) | Início e durante o carregamento |

*EVSEMaximumPowerLimit*

Este parâmetro diz respeito ao valor do limite máximo de potência aceite pelo EVSE para carregamento DC e é trocado nas mensagens V2G *ChargeParameterDiscoveryReq* e *CurrentDemandReq*.

| Nome                         | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão          |
|------------------------------|---------|-----------------|---------------------------------|
| <b>EVSEMaximumPowerLimit</b> | kW      | Short (2 bytes) | Início e durante o carregamento |

### *EVSEMinimumCurrentLimit*

Este parâmetro diz respeito ao valor do limite mínimo de corrente aceite pelo EVSE para carregamento DC e apenas é trocado na mensagem V2G *ChargeParameterDiscoveryReq*.

| Nome                           | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|--------------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVSEMinimumCurrentLimit</b> | A       | Short (2 bytes) | Início do carregamento |

### *EVSEMinimumVoltageLimit*

Este parâmetro diz respeito ao valor do limite mínimo de tensão aceite pelo EVSE para carregamento DC e apenas é trocado na mensagem V2G *ChargeParameterDiscoveryReq*.

| Nome                           | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|--------------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVSEMinimumVoltageLimit</b> | V       | Short (2 bytes) | Início do carregamento |

### *EVSEPeakCurrentRipple*

Este parâmetro diz respeito ao valor da magnitude pico-a-pico de corrente de ripple do EVSE e apenas é trocado na mensagem V2G *ChargeParameterDiscoveryReq*.

| Nome                         | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão  |
|------------------------------|---------|-----------------|-------------------------|
| <b>EVSEPeakCurrentRipple</b> | A       | Short (2 bytes) | Início do carregamento* |

### *EVSEPresentVoltage*

Este parâmetro diz respeito à tensão debitada pelo EVSE para carregamento DC e normalmente assume o valor do parâmetro EVTargetVoltage transmitido pelo



veículo elétrico ao equipamento de carga, e é trocado nas mensagens V2G *PreChargeReq*, *CurrentDemandRes* e *WeldingDetectionRes*.

| Nome                      | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|---------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVSEPresentVoltage</b> | V       | Short (2 bytes) | Durante o carregamento |

### *EVSEPresentCurrent*

Este parâmetro diz respeito à corrente debitada pelo EVSE para carregamento DC e normalmente assume o valor do parâmetro EVTargetCurrent transmitido pelo veículo elétrico ao equipamento de carga, e apenas é trocado na mensagem V2G *CurrentDemandRes*.

| Nome                      | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|---------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVSEPresentCurrent</b> | A       | Short (2 bytes) | Durante o carregamento |

### *EVSECurrentLimitAchieved*

Este parâmetro diz respeito ao indicador de limite máximo de corrente atingido pelo EVSE. O indicador é ativado quando o valor do limite máximo de corrente do EVSE é atingido. Este elemento apenas é trocado na mensagem V2G *CurrentDemandRes*.

| Nome                            | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|---------------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVSECurrentLimitAchieved</b> | -       | Boolean (1 bit) | Durante o carregamento |

### *EVSEVoltageLimitAchieved*

Este parâmetro diz respeito ao indicador de limite máximo de tensão atingido pelo EVSE. O indicador é ativado quando o valor do limite máximo de tensão do EVSE é atingido. Este elemento apenas é trocado na mensagem V2G *CurrentDemandRes*.

| Nome                            | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|---------------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVSEVoltageLimitAchieved</b> | -       | Boolean (1 bit) | Durante o carregamento |

*EVSEPowerLimitAchieved*

Este parâmetro diz respeito ao indicador de limite máximo de potência atingido pelo EVSE. O indicador é ativado quando o valor do limite máximo de potência do EVSE é atingido. Este elemento apenas é trocado na mensagem V2G *CurrentDemandRes*.

| Nome                          | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|-------------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVSEPowerLimitAchieved</b> | -       | Boolean (1 bit) | Durante o carregamento |

*Parâmetros para carregamento AC disponibilizados pelo equipamento de carga ao veículo elétrico*

Consistem nos parâmetros que o equipamento de carga disponibiliza ao veículo elétrico quando estabelecida uma sessão de comunicação no modo de transferência de energia AC e segundo o protocolo de comunicação da ISO 15118.

*SessionID*

Este parâmetro diz respeito ao identificador da sessão de comunicação. Na biblioteca open-source RISEV2G este parâmetro é gerado pelo ficheiro java V2GCommunicationSession. Começa por gerar um array com 8 bytes que depois converte para hexadecimal. Ex: [201 202 211 251 230 30 103 134] > [C9 CA D3 FB E6 1E 67 86] > "C9CAD3FBE61E6786". Cada sessão de comunicação deverá ter o seu respetivo identificador. Este elemento é trocado em todas as mensagens V2G.

| Nome             | Unidade | Tipo              | Frequência transmissão |
|------------------|---------|-------------------|------------------------|
| <b>SessionID</b> | -       | String (16 bytes) | Início do carregamento |

*EVSEID*

Este parâmetro diz respeito ao identificador do equipamento de carga e pode ser configurado no ficheiro java DummyACEVSEController da biblioteca open-source

RISEV2G. Cada equipamento de carga deverá ter o seu respetivo identificador. Este elemento é trocado nas mensagens V2G *SessionSetupRes*, *ChargingStatusRes* e *MeteringReceiptRes*.

| Nome          | Unidade | Tipo              | Frequência transmissão |
|---------------|---------|-------------------|------------------------|
| <b>EVSEID</b> | -       | String (13 bytes) | Início do carregamento |

### *EVSETimeStamp*

Este parâmetro diz respeito ao valor da marca temporal do início da sessão de comunicação. Na biblioteca open-source RISEV2G o valor deste parâmetro é gerado no ficheiro java *WaitForSessionSetup*, e utiliza a função *System.currentTimeMillis()* para retornar o valor em milissegundos desde 1 de janeiro de 1970. Este valor está dividido por 1000 de forma a ser apresentado em segundos. Este elemento é trocado nas mensagens V2G *SessionSetupRes* e *PaymentDetailsRes*.

| Nome                 | Unidade | Tipo           | Frequência transmissão |
|----------------------|---------|----------------|------------------------|
| <b>EVSETimeStamp</b> | s       | Long (8 bytes) | Início do carregamento |

### *EVSENominalVoltage*

Este parâmetro diz respeito ao valor da tensão nominal do EVSE para carregamento AC e apenas é trocado na mensagem V2G *ChargeParameterDiscoveryReq*.

| Nome                      | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|---------------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVSENominalVoltage</b> | V       | Short (2 bytes) | Início do carregamento |

### *EVSEMaxCurrent*

Este parâmetro diz respeito ao valor do limite máximo de corrente aceite pelo EVSE para carregamento AC e apenas é trocado na mensagem V2G *ChargeParameterDiscoveryReq*.

| Nome                  | Unidade | Tipo            | Frequência transmissão |
|-----------------------|---------|-----------------|------------------------|
| <b>EVSEMaxCurrent</b> | A       | Short (2 bytes) | Início do carregamento |

## C. Código comunicación Matlab – Labview

```

Function [sys,x0,str,ts,simStateCompliance] = Write_Read_Server_OPC(t,x,u,flag,sample_OPC)
switch flag,
    %% Initialization
    case 0,
        [sys,x0,str,ts,simStateCompliance] = mdlInitializeSizes(sample_OPC);
    %% Outputs
    case 3,
        sys=mdlOutputs(t,x,u);
    %% Unhandled cases
    case {1, 2, 4, 9}
        sys = [];
    %% Unexpected flags
    otherwise
        DAStudio.error('Simulink:blocks:unhandledFlag', num2str(flag));
end
function [sys,x0,str,ts,simStateCompliance]=mdlInitializeSizes(sample_OPC)
    sizes = simsizes;
    sizes.NumContStates = 0;           % Number of continuous states
    sizes.NumDiscStates = 0;          % Number of discrete states
    sizes.NumOutputs = 2;              % Number of output variables
    sizes.NumInputs = 3;               % Number of input variables
    sizes.DirFeedthrough = 1;          % Allows you to use the inputs 'u'
                                        % to calculate the outputs in 'mdlOutputs'
    sizes.NumSampleTimes = 1;          % At least one sample time is needed

    sys = simsizes(sizes);

    x0 = [];                           % State initialization
    str = [];
    ts = [sample_OPC 0];               % Sampling times initialization

    % Specify the block simStateCompliance. The allowed values are:
    % 'UnknownSimState', < The default setting; warn and assume DefaultSimState
    % 'DefaultSimState', < Same sim state as a built-in block
    % 'HasNoSimState', < No sim state
    % 'DisallowSimState' < Error out when saving or restoring the model sim state
    simStateCompliance = 'UnknownSimState';
function sys=mdlOutputs(t,x,u)

    In1 = u(1); % Input 1
    In2 = u(2); % Input 2
    In3 = u(3); % Input 3
    % Add as many variables as there are inputs
    % *****%
    persistent init_Server;
    persistent init_Nodes;
    persistent uaClient;

    % Persistent INPUTS
    persistent Node_Input_Var_1;
    persistent Node_Input_Var_2;
    persistent Node_Input_Var_3;
    % Add as many variables as there are inputs
    % *****%

    % Persistent OUTPUTS
    persistent Node_Output_Var_1;
    persistent Node_Output_Var_2;

```

```

    % Add as many variables as there are outputs
    % *****%

if (isempty(init_Server))
    init_Server = 0;
    init_Nodes = 0;
end
% OPC UA server address and connecting client (Simulink) to the server
if init_Server == 0
    init_Server = 1;
    uaClient = opcua('localhost',53530);
    connect(uaClient);
end
% define variable nodes in the server
if uaClient.isConnected == 1 && init_Nodes == 0
    init_Nodes = 1;
    Node_Input_Var_1= opcuanode(3,1007,uaClient);
    Node_Input_Var_2= opcuanode(3,1008,uaClient);
    Node_Input_Var_3= opcuanode(3,1011,uaClient);
    Node_Output_Var_1= opcuanode(3,1009,uaClient);
    Node_Output_Var_2= opcuanode(3,1010,uaClient);
end
% Read and write variables of the OPC server
if uaClient.isConnected == 1 && init_Nodes == 1
    % Write S-Function inputs on OPC server
    writeValue(uaClient, Node_Input_Var_1, In1);
    writeValue(uaClient, Node_Input_Var_2, In2);
    writeValue(uaClient, Node_Input_Var_3, In3);
    % Read S-Function outputs from OPC server
    [out1, ~, ~] = readValue(uaClient, Node_Output_Var_1);
    [out2, ~, ~] = readValue(uaClient, Node_Output_Var_2);
end

% Write the output variables of the S-Function block
sys = [];
sys = [out1 out2];

```

## Referências

---

- [1] C. Bordons, F. García Torres, and M. A. Ridao, *Model Predictive Control of Micro-grids*. 2019.
- [2] O. Tremblay, L. A. Dessaint, and A. I. Dekkiche, "A generic battery model for the dynamic simulation of hybrid electric vehicles," 2007, doi: 10.1109/VPPC.2007.4544139.
- [3] O. Tremblay and L. A. Dessaint, "Experimental validation of a battery dynamic model for EV applications," *World Electr. Veh. J.*, 2009, doi: 10.3390/wevj3020289.
- [4] C. M. Shepherd, "Design of Primary and Secondary Cells," *J. Electrochem. Soc.*, 1965, doi: 10.1149/1.2423659.
- [5] L. Valverde, F. Rosa, A. J. Del Real, A. Arce, and C. Bordons, "Modeling, simulation and experimental set-up of a renewable hydrogen-based domestic microgrid," *Int. J. Hydrogen Energy*, 2013, doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.06.113.
- [6] A. Bahrami, "EV Charging Definitions, Models, Levels, Communication Protocols and Applied Standards," 2020.
- [7] V. Schwarzer and R. Ghorbani, "Current State-of-the-Art of EV Chargers," 2015. [Online]. Available: <http://evtc.fsec.ucf.edu/publications/documents/HNEI-01-15.pdf>.
- [8] V2G CLARITY, "What Is ISO 15118?," 2019. <https://v2g-clarity.com/knowledgebase/what-is-iso-15118/> (accessed Mar. 02, 2020).
- [9] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 15118-3:2015." 2015, [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15118:-3:ed-1:v1:en>.
- [10] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 15118-8:2018." 2018, [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15118:-8:ed-1:v1:en>.

- [11] Society of Automotive Engineers of Japan, "Industry Standards." 2014.
- [12] N. El Sayed, "A Prototypical Implementation of an ISO-15118-Based Wireless Vehicle to Grid Communication for Authentication over Decoupled Technologies." 2019.
- [13] S.-H. Ju, I.-H. Lee, S.-H. Song, and H.-S. Seo, "Communication Interoperability between Ev Charging Infrastructure and Grid," *Int. J. Eng. Technol.*, 2018, [Online]. Available: <https://www.sciencepubco.com/index.php/IJET>.
- [14] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 15118-2:2014." 2014, [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15118:-2:ed-1:v1:en>.
- [15] V2G CLARITY, "Communication Protocols for Electric Vehicle Charging - Meet ISO 15118-20." 2019.
- [16] PowerUP, "V2G Conformance Test Specifications." 2012, [Online]. Available: [https://portal.etsi.org/CTI/Downloads/TestSpecifications/PowerUp\\_D6.1\\_08.pdf](https://portal.etsi.org/CTI/Downloads/TestSpecifications/PowerUp_D6.1_08.pdf).
- [17] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 15118-1:2019." 2019, [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15118:-1:ed-2:v1:en>.
- [18] M. Multin, "ISO 15118 Manual Excerpt." 2018.
- [19] Fraunhofer Institute for Secure Information Technology, "Security Module for the Electric Vehicle Charging System." 2019, [Online]. Available: [https://www.sit.fraunhofer.de/fileadmin/dokumente/studien\\_und\\_technical\\_reports/SIT-TR-2019-03-FINAL.pdf?\\_=1579176671](https://www.sit.fraunhofer.de/fileadmin/dokumente/studien_und_technical_reports/SIT-TR-2019-03-FINAL.pdf?_=1579176671).
- [20] Open Charge Alliance, "OCPP 1.X - RFC ISO/IEC 15118." 2016, [Online]. Available: <https://www.oasis-open.org/committees/download.php/58931/RFC15118.pdf>.
- [21] V2G CLARITY, "The Basics of Plug & Charge," 2019. <https://v2g-clarity.com/knowledgebase/basics-of-plug-and-charge/> (accessed Sep. 11, 2020).



- [22] V2G CLARITY, “RISE V2G.” <https://github.com/V2GClarity/RISE-V2G>.
- [23] G. Merei, J. Moshövel, D. Magnor, and D. U. Sauer, “Optimization of self-consumption and techno-economic analysis of PV-battery systems in commercial applications,” *Appl. Energy*, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.01.083.
- [24] R. Perez, L. Burtis, T. Hoff, S. Swanson, and C. Herig, “Quantifying residential PV economics in the US - Payback vs cash flow determination of fair energy value,” 2004, doi: 10.1016/j.solener.2004.03.004.
- [25] “TTUES-Transporte Turístico Urbano Eléctrico Sostenible.” .
- [26] “Scoobic Light-Urban Mobility.” .
- [27] “Scoobic Light-Ciclomotor Specifications,” 2019.
- [28] “Iberdrola-Tarifas,” 2019.
- [29] P. Marmé, “Tarifas Postos de carregamento rápido,” 2018. .