

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Concepção de um Módulo de Gestão para Sistemas Energéticos Híbridos, em Redes com Funcionamento Isolado

Pedro Miguel Machado Correia

Licenciado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

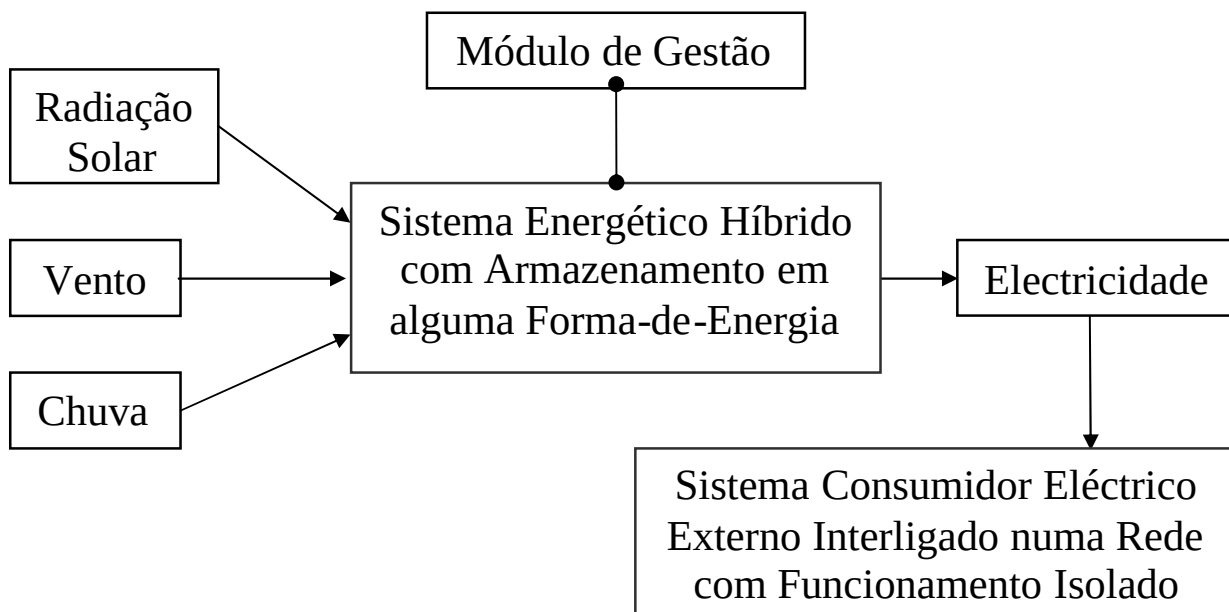
Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos
do grau de mestre em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores
(Área de especialização de Energias Renováveis)

Dissertação realizada sob a supervisão de
Professor Doutor José Rui da Rocha Pinto Ferreira,
Professor Doutor Hélder Filipe Duarte Leite,
do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Novembro de 2009

Dissertação sobre:

Concepção de um Módulo de Gestão para Sistemas Energéticos Híbridos, em Redes com Funcionamento Isolado



Autor: **Pedro Miguel Machado Correia**

Orientador: José Rui da Rocha Pinto Ferreira

Co-orientador: Hélder Filipe Duarte Leite

Curso: Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área de especialização: Energias Renováveis

Estabelecimento de ensino: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Período de realização: [Fevereiro/2008; Janeiro/2009]

Índice

Resumo	R – 1
“Abstract”	R – 2
“Résumé”	R – 3
“Resumen”	R – 4

Listas:

Listas dos objectos de documento	L – 1
L1.1 - Lista de equações	L – 1
L1.2 - Lista de figuras	L – 1
L1.3 - Lista de fotografias	L – 5
L1.4 - Lista de gráficos	L – 5
L1.5 - Lista de quadros	L – 12
L1.6 - Lista de tabelas	L – 12
Listas de abreviaturas e símbolos	L – 15
L2.1 - Lista de abreviaturas de unidades de medida	L – 15
L2.2 - Lista de siglas de dispositivos e sistemas	L – 16
L2.3 - Lista de siglas de formas-de-energia	L – 18
L2.4 - Lista de siglas diversas	L – 18
L2.5 - Lista de símbolos	L – 19

Capítulos:

Capítulo 1 - Introdução	C – 1
1.1 - Enquadramento dos problemas na gestão de sistemas energéticos híbridos ..	C – 1
1.2 - Desafios técnicos e opções possíveis para a resolução dos problemas	C – 1
1.3 - Definição e explicação de conceitos relacionados com energia	C – 2
1.4 - Explicação de conceitos relativos à gestão	C – 3
1.5 - Motivação e objectivos para a realização do projecto de dissertação	C – 4
1.6 - Resumo dos capítulos posteriores	C – 6
Capítulo 2 - Estado da arte na gestão de sistemas energéticos híbridos (SEH's).....	C – 7
2.1 - Descrição do modo de pesquisa	C – 7
2.2 - Comentários da análise crítica efectuada aos ficheiros principais	C – 7
2.2.1 - Documento sobre ‘Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico, como Alternativa na Geração Descentralizada de Electricidade para Áreas Rurais Isoladas’	C – 7
2.2.2 - Documento sobre ‘Situação da Geração Eléctrica através de Sistemas Híbridos no Estado do Pará e Perspectivas frente à Universalização da Energia Eléctrica’	C – 9
2.2.3 - Documento sobre ‘Electrificação de Edificações Rurais Isoladas Utilizando Energia Solar por Processo Fotovoltaico’	C – 11
2.2.4 - Documento sobre ‘Integração de Energias Renováveis na Produção Descentralizada de Electricidade Utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG)’	C – 13
2.2.5 - Documento sobre ‘Estratégias de Gestão de Energia para Optimização do Armazenamento de Energia em Sistema Híbrido de Energia Eólica’	C – 14
2.2.6 - Documento sobre ‘Compromisso entre Custo e Fiabilidade em Desenho-de-Projecto Óptimo de um Sistema Energético Híbrido Autónomo Usando o Algoritmo de Optimização por Enxame de Partículas (OEP) com Números Inteiros Aproximados’	C – 16

2.2.7 - Documento sobre ‘Um Conversor Multi-Direccional de Energia para um Sistema Híbrido de Geração Distribuída de Electricidade proveniente de Energia Renovável com Armazenamento em Bateria’	C – 17
2.2.8 - Documento sobre ‘Produção de Energia Eléctrica para Sítio Isolado por Sistema Híbrido de Conversão de Energia Solar’	C – 18
2.2.9 - Documento sobre ‘O Hidrogénio Electrolítico como Meio de Armazenamento de Energia proveniente de Electricidade para Sistemas Fotovoltaicos Isolados’	C – 19
2.2.10 - Documento sobre ‘Sistemas Energéticos Híbridos para Fins Produtivos em Comunidades de Lambaieque no Peru’	C – 21
2.3 - Conclusões acerca dos documentos analisados	C – 24
Capítulo 3 - Modelização e caracterização do SEH existente no edifício J da FEUP ...	C – 25
3.1 - Modelização do sistema energético híbrido (SEH) existente	C – 25
3.1.1 - Esquema de localização dos componentes do equipamento no SEH	C – 26
3.1.2 - Esquema das formas-de-energia principais no SEH	C – 29
3.2 - Descrição do equipamento usado para o sistema energético híbrido (SEH) existente	C – 31
3.2.1 - Dispositivos fora do compartimento e sobre a cobertura no topo do edifício J da FEUP	C – 31
3.2.2 - Dispositivos dentro do compartimento no topo do edifício J da FEUP	C – 32
3.2.2.1 - Dispositivos afixados na parede	C – 32
3.2.2.2 - Dispositivos sobre a mesa pequena	C – 33
3.2.2.3 - Dispositivos sobre uma mesa grande	C – 33
Capítulo 4 - Modelização dos componentes em algumas expansões do SEH existente	C – 35
4.1 - Modelização do sistema energético híbrido (SEH) para a primeira expansão com armazenamento de energia hídrica (E_HDC)	C – 35
4.1.1 - Esquemas das formas-de-energia principais no SEH só com armazenamento de energia hídrica (E_HDC)	C – 36
4.1.1.1 - Esquema do SEH sem representação de perdas energéticas	C – 36
4.1.1.2 - Esquema do sistema armazenador de energia hídrica (SAE_HDC) com representação de perdas energéticas	C – 37
4.1.2 - Esquema das formas-de-energia principais no SEH com armazenamento de energia ‘electrolítica’ (E_ELO) e de energia hídrica (E_HDC), sem representação de perdas energéticas	C – 37
4.1.3 - Legenda dos esquemas	C – 38
4.2 - Modelização do sistema energético híbrido (SEH) para a segunda expansão com armazenamento de energia ‘hidrogénica’ (E_HDG)	C – 39
4.2.1 - Esquemas das formas-de-energia principais no SEH só com armazenamento de energia ‘hidrogénica’ (E_HDG)	C – 40
4.2.1.1 - Esquema do SEH sem representação de perdas energéticas	C – 40
4.2.1.2 - Esquema do sistema armazenador de energia ‘hidrogénica’ (SAE_HDG) com representação de perdas energéticas	C – 40
4.2.2 - Esquema das formas-de-energia principais no SEH com armazenamento de energia ‘electrolítica’ (E_ELO), de energia hídrica (E_HDC) e de energia ‘hidrogénica’ (E_HDG), sem representação de perdas energéticas	C – 41
4.2.3 - Legenda dos esquemas	C – 42
Capítulo 5 - Realização de algoritmos para gestão e controlo de um SEH	C – 43
5.1 - Estudo da gestão operacional diária de um SEH só com armazenamento de energia ‘electrolítica’ (E_ELO)	C – 43
5.1.1 - Esquema das formas-de-energia principais no SEH.....	C – 43

5.1.2 - Esquema dos componentes principais no sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ (SAE_ELO)	C – 44
5.1.3 - Algoritmos simplificados para gestão e controlo do sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ (SAE_ELO)	C – 44
5.1.3.1 - Em linguagem informal	C – 44
5.1.3.2 - Em fluxograma	C – 45
5.1.4 - Implementação em folhas-de-cálculo do programa “Excel”	C – 47
5.1.5 - Dados e resultados da gestão operacional diária	C – 48
5.1.5.1 - SEH com componentes arbitrários	C – 48
5.1.5.2 - SEH com componentes existentes no edifício J da FEUP	C – 67
5.2 - Estudo da gestão operacional diária de um SEH só com armazenamento de energia hídrica (E_HDC)	C – 79
5.2.1 - Esquema das formas-de-energia principais no SEH	C – 79
5.2.2 - Esquema dos componentes principais no sistema armazenador de energia hídrica (SAE_HDC)	C – 80
5.2.3 - Determinação de fórmulas de cálculo no sistema armazenador de energia hídrica (SAE_HDC)	C – 82
5.2.4 - Algoritmos simplificados para gestão e controlo do sistema armazenador de energia hídrica (SAE_HDC)	C – 87
5.2.4.1 - Em linguagem informal	C – 87
5.2.4.2 - Em fluxograma	C – 87
5.2.5 - Implementação em folhas-de-cálculo do programa “Excel”	C – 89
5.3 - Estudo da gestão operacional diária de um SEH com armazenamento de energia ‘electrolítica’ (E_ELO) e de energia hídrica (E_HDC)	C – 90
5.3.1 - Esquema das formas-de-energia principais no SEH.....	C – 90
5.3.2 - Algoritmos simplificados para gestão e controlo do sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ e de energia hídrica (SAE_ELO_HDC)	C – 91
5.3.2.1 - Em linguagem informal	C – 91
5.3.2.2 - Em fluxograma	C – 92
5.3.3 - Implementação em folhas-de-cálculo do programa “Excel”	C – 97
5.3.4 - Dados e resultados da gestão operacional diária	C – 97
Capítulo 6 - Realização de um programa informático para gestão e controlo de um SEH	C – 109
6.1 - Apresentação do programa de simulação sobre gestão e controlo de um SEH, da versão 1.0	C – 109
6.1.1 - Janelas iniciais do programa	C – 109
6.1.2 - Janela principal do programa	C – 111
6.1.3 - Janelas de introdução de dados	C – 113
6.1.4 - Janelas de simulação	C – 117
6.1.5 - Outras partes do programa	C – 121
6.2 - Utilização do programa da versão 1.0	C – 122
Capítulo 7 - Validação dos algoritmos por adaptação do programa a alguns SEH’s ..	C – 131
7.1 - Adaptação do programa de simulação sobre gestão e controlo ao SEH existente no edifício J da FEUP	C – 131
7.1.1 - Apresentação do programa da versão 1.5	C – 131
7.1.2 - Utilização do programa da versão 1.5	C – 133
7.2 - Adaptação do programa de simulação sobre gestão e controlo ao SEH da primeira expansão	C – 144
7.2.1 - Apresentação do programa da versão 2.0 e da versão 2.5	C – 144
7.2.2 - Análise de diferentes situações para o SEH com armazenamento de energia ‘electrolítica’ (E_ELO) e de energia hídrica (E_HDC)	C – 152

Capítulo 8 - Estudo de alguns SEH's usando o programa "HOMER"	C – 161
8.1 - Simulação do SEH existente no edifício J da FEUP	C – 161
8.1.1 - Caracterização dos recursos energéticos	C – 162
8.1.2 - Caracterização dos componentes de sistema energético fornecedor de electricidade	C – 163
8.1.3 - Caracterização do sistema consumidor de energia eléctrica	C – 165
8.1.4 - Definição de parâmetros gerais do sistema energético	C – 166
8.1.5 - Selecção da melhor configuração do sistema energético em várias situações	C – 167
8.2 - Simulação do SEH da primeira expansão	C – 173
8.2.1 - Caracterização dos recursos energéticos	C – 174
8.2.2 - Caracterização dos componentes de sistema energético fornecedor de electricidade	C – 175
8.2.3 - Caracterização do sistema consumidor de energia eléctrica	C – 175
8.2.4 - Definição de parâmetros gerais do sistema energético	C – 176
8.2.5 - Selecção da melhor configuração do sistema energético em várias situações	C – 176
8.3 - Estudo de sensibilidade para o SEH existente no edifício J da FEUP	C – 180
8.4 - Estudo de sensibilidade para o SEH da primeira expansão	C – 183
8.5 - Conclusões	C – 188
Capítulo 9 - Conclusões gerais e perspectivas futuras	C – 191
9.1 - Conclusões gerais	C – 191
9.2 - Perspectivas futuras	C – 192
Referências bibliográficas	RB – 1
Anexos:	
Anexo 1 - Imagens do programa "HOMER"	A – 1
A1.1 - Imagens da caracterização dos recursos energéticos	A – 1
A1.2 - Imagens da caracterização dos componentes de sistema energético fornecedor de electricidade	A – 2
A1.3 - Imagens da caracterização do sistema consumidor de energia eléctrica	A – 6
A1.4 - Imagens da definição de parâmetros gerais do sistema energético	A – 8
A1.5 - Imagens da selecção da melhor configuração do sistema energético em várias situações	A – 10
A1.6 - Imagens dos estudos de sensibilidade para parâmetros de recursos energéticos	A – 15
Anexo 2 - Glossário	A – 19
Anexo 3 - Características do equipamento de sistema energético existente na FEUP ..	A – 22
A3.1 - Dispositivos fora do compartimento e sobre a cobertura no topo do edifício J da FEUP	A – 22
A3.2 - Dispositivos dentro do compartimento no topo do edifício J da FEUP	A – 25
A3.2.1 - Dispositivos afixados na parede	A – 25
A3.2.2 - Dispositivos sobre a mesa pequena	A – 27
A3.2.3 - Dispositivos sobre uma mesa grande	A – 27

Resumo

Este trabalho apresenta os estudos efectuados no âmbito da gestão de sistemas energéticos híbridos, os quais são abastecidos de formas-de-energia renováveis e não-poluentes, tais como a energia solar, a energia eólica e a energia hídrica. Esses sistemas energéticos híbridos podem armazenar energia em uma ou mais formas-de-energia, e esta energia armazenada será convertida para energia eléctrica em períodos de escassez ou inexistência das fontes energéticas para que se possa satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo.

Foi feita a modelização do sistema energético híbrido baseado nos componentes existentes no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e este sistema só tem armazenamento de energia ‘electrolítica’. A energia ‘electrolítica’ consiste na carga eléctrica existente nas moléculas do electrólito de baterias electroquímicas, para as quais ocorrem transformações químicas por acção da corrente eléctrica. Algumas dessas baterias são compostas por placas de chumbo e por ácido corrosivo do electrólito, e se estes componentes não forem devidamente reciclados no fim da existência útil das baterias e forem abandonados no meio-ambiente, então têm consequências nefastas para os seres-vivos. Por essa razão, foi feito o estudo de formas-de-energia alternativas à energia ‘electrolítica’ para o armazenamento energético, tais como a energia hídrica e a energia ‘hidrogénica’. Numa fase preliminar desse estudo, modelizou-se os componentes para duas expansões do sistema energético híbrido existente. Na primeira expansão do sistema energético híbrido, fez-se a modelização de uma configuração de sistema energético híbrido só com armazenamento de energia hídrica, e de outra configuração com armazenamento de energia ‘electrolítica’ e de energia hídrica. Na segunda expansão do sistema energético híbrido, modelizou-se uma configuração de sistema energético híbrido só com armazenamento de energia ‘hidrogénica’, e a outra configuração com armazenamento de energia ‘electrolítica’, de energia hídrica e de energia ‘hidrogénica’.

Na fase seguinte do estudo, realizou-se algoritmos para a gestão e o controlo dos sistemas armazenadores de energia em alguns sistemas energéticos híbridos, e simulou-se a gestão operacional diária destes sistemas em folhas-de-cálculo do programa “Excel”. Posteriormente, elaborou-se um programa informático de simulação sobre gestão e controlo de um sistema energético híbrido. As versões 1.0 e 1.5 desse programa de simulação têm apenas um sistema armazenador de energia ‘electrolítica’, a versão 2.0 tem só um sistema armazenador de energia hídrica, e a versão 2.5 tem um sistema armazenador de energia hídrica que é compensado no seu funcionamento por um sistema armazenador de energia ‘electrolítica’.

Na fase final, realizou-se a simulação e a análise de sensibilidade de alguns parâmetros para alguns sistemas energéticos híbridos, usando o programa “HOMER”.

Tradução do «Resumo» para o idioma inglês:

Abstract

This work presents the studies in the management of hybrid energy systems, which are supplied with renewable and clean forms of energy, such as solar energy, wind energy and hydraulic energy. These hybrid power systems can store energy in one or more forms of energy, and this stored energy will be converted to electric energy in periods of shortage or lack of the energy sources that can meet the electric consumption of the external electric consumer system.

It was done the modelling of the hybrid energy system based on existent components in the J building of the Faculty of Engineering of the University of Oporto, and this system only has storage of electrochemical energy of electrolyte. The electrochemical energy of electrolyte consists in the electric charge existing in the molecules of the electrolyte of electrochemical batteries, for which chemical transformations occur by the action of electric current. Some of these batteries are composed of plates of lead and corrosive acid of the electrolyte, and if these components are not properly recycled at the end of the useful existence of the batteries and are abandoned in the environment, then have negative consequences for the living beings. For that reason, it was done the study of alternative forms of energy to electrochemical energy of electrolyte for the energetic storage, such as hydraulic energy and chemical energy of hydrogen. In a preliminary phase of this study, it was modelled the components for two expansions of existing hybrid energy system. In the first expansion of the hybrid energy system, it was done the modelling of a hybrid energy system configuration only with storage of hydraulic energy, and other configuration with storage of electrochemical energy of electrolyte and hydraulic energy. In the second expansion of the hybrid energy system, it was modelled a hybrid energy system configuration only with storage of chemical energy of hydrogen, and another configuration with storage of electrochemical energy of electrolyte, hydraulic energy and chemical energy of hydrogen.

In the next phase of the study, it was realized algorithms for the management and control of the systems of storage of energy in some hybrid energy systems, and it was simulated the daily operational management of these systems in spreadsheets of the program 'Excel'. Later, it developed a software of simulation on management and control of a hybrid energy system. The versions 1.0 and 1.5 of the simulation program have only one system of storage of electrochemical energy of electrolyte, the version 2.0 has only one storage system of hydraulic energy, and the version 2.5 has a storage system of hydraulic energy which is compensated in its operation by a storage system of electrochemical energy of electrolyte.

In the final phase, there was the simulation and the sensitivity analysis of some parameters for some hybrid power systems, using the program 'HOMER'.

Tradução do «Resumo» para o idioma francês:

Résumé

Ce travail présente les études effectués dans la gestion des systèmes énergétiques hybrides, les quelles sont fournis avec des formes d'énergie renouvelables et propres, telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'énergie hydrique. Ces systèmes énergétiques hybrides peuvent emmagasiner énergie dans une ou plusieurs formes d'énergie, et cette énergie stockée sera convertie en énergie électrique en périodes de pénurie ou de l'absence des sources d'énergie pour qui on puisse répondre à la consommation d'électricité du système consommateur électrique externe.

On a fait la modélisation du système énergétique hybride basé sur les composants existants dans le bâtiment J de la Faculté de Génie de l'Université de Porto, et ce système ne dispose que d'un stockage de l'énergie électrochimique de l'électrolyte. L'énergie électrochimique de l'électrolyte consiste dans la charge électrique existant dans les molécules de l'électrolyte des batteries électrochimiques, pour les quelles se font transformations chimiques par l'action du courant électrique. Certains de ces batteries sont composés par plaques de plomb et par acide corrosive de l'électrolyte, et si ces composants ne sont pas correctement recyclés à la fin de l'existence utile des batteries et sont abandonnés dans l'environnement, alors ils ont des conséquences négatives pour les êtres vivants. Par cette raison, on a été fait l'étude des formes d'énergie alternatives à l'énergie électrochimique de l'électrolyte pour le stockage énergétique, telles comme l'énergie hydrique et l'énergie chimique de l'hydrogène. Dans une phase préliminaire de cette étude, on a modelé les composants pour deux expansions du système énergétique hybride existant. Dans la première expansion du système énergétique hybride, on a fait la modélisation d'une configuration de système énergétique hybride avec seulement stockage d'énergie hydrique et d'autre configuration avec stockage de l'énergie électrochimique de l'électrolyte et de l'énergie hydrique. Dans la deuxième expansion du système énergétique hybride, on a modelé une configuration de système énergétique hybride avec seulement stockage d'énergie chimique de l'hydrogène, et l'autre configuration avec stockage de l'énergie électrochimique de l'électrolyte, de l'énergie hydrique et d'énergie chimique de l'hydrogène.

Au cours de la prochaine phase de l'étude, on a réalisé les algorithmes pour la gestion et le contrôle des systèmes de stockage de l'énergie dans certains systèmes hybrides d'énergie, et on a simulé la gestion opérationnelle quotidienne de ces systèmes dans des feuilles de calcul du programme "Excel". Plus tard, il a développé un logiciel de simulation sur gestion et contrôle d'un système énergétique hybride. Les versions 1.0 et 1.5 de ce programme de simulation ont seulement un système de stockage d'énergie électrochimique de l'électrolyte, la version 2.0 ne dispose que d'un système de stockage de l'énergie hydraulique, et la version 2.5 a un système de stockage de l'énergie hydraulique qui est compensée dans son fonctionnement par un système de stockage d'énergie électrochimique de l'électrolyte.

Dans la phase finale, on a réalisé la simulation et l'analyse de sensibilité de certains paramètres pour certains systèmes hybrides d'énergie, utilisant le programme "HOMER".

Tradução do «Resumo» para o idioma espanhol:

Resumen

Este trabajo presenta los estudios efectuados en la gestión de los sistemas energéticos híbridos, que se suministran con las formas de energía renovables y limpias, como la energía solar, la energía eólica y la energía hidráulica. Esos sistemas híbridos de energía pueden almacenar energía en una o más formas de energía, y esta energía almacenada será convertida para energía eléctrica en períodos de escasez o falta de las fuentes de energía para que se pueda satisfacer el consumo de electricidad del sistema consumidor eléctrico exterior.

Fue hecha la modelación del sistema energético híbrido basado en los componentes existentes en el edificio J de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto, y este sistema sólo tiene almacenamiento de energía electroquímica del electrolito. La energía electroquímica del electrolito consiste en la carga eléctrica existente en las moléculas del electrolito de baterías electroquímicas, para las cuales se producen transformaciones químicas por la acción de la corriente eléctrica. Algunas de esas baterías se componen por placas de plomo y por ácido corrosivo del electrolito, y si estos componentes no son debidamente reciclados al final de la existencia útil de las baterías y son abandonados en el medio ambiente, entonces tienen consecuencias negativas para los seres vivos. Por esa razón, fue hecho el estudio de formas de energía alternativas a la energía electroquímica del electrolito para el almacenamiento energético, como la energía hidráulica y la energía química del hidrógeno. En una fase preliminar de ese estudio, se hay modelado los componentes para dos expansiones del sistema energético híbrido existente. En la primera expansión del sistema energético híbrido, se efectuó la modelación de una configuración del sistema energético híbrido sólo con almacenamiento de energía hidráulica, y de otra configuración con almacenamiento de energía electroquímica del electrolito y de energía hidráulica. En la segunda expansión del sistema energético híbrido, se hay modelado una configuración del sistema energético híbrido sólo con almacenamiento de energía química del hidrógeno, y otra configuración con almacenamiento de energía electroquímica del electrolito, de energía hidráulica y de energía química del hidrógeno.

En la siguiente fase del estudio, se llevó a cabo los algoritmos para la gestión y el control de los sistemas de almacenamiento de energía en algunos sistemas de energía híbridos, y se simuló la gestión operativa diaria de estos sistemas en las hojas de cálculo del programa “Excel”. Más tarde, se desarrolló un programa informático de simulación de gestión y control de un sistema energético híbrido. Las versiones 1.0 y 1.5 del programa de simulación sólo tienen un sistema almacenador de energía electroquímica del electrolito, la versión 2.0 sólo dispone de un sistema almacenador de energía hidráulica, y la versión 2.5 tiene un sistema almacenador de energía hidráulica que se compensa en su funcionamiento por un sistema almacenador de energía electroquímica del electrolito.

En la fase final, se realizó la simulación y el análisis de sensibilidad de algunos parámetros para algunos sistemas híbridos de energía, usando el programa “HOMER”.

Listas dos objectos de documento

L1.1 - Lista de equações

Equação 5.1 → Fórmula de energia potencial gravítica	C - 82
Equação 5.2 → Fórmula genérica de energia potencial gravítica para o CRHS	C - 82
Equação 5.3 → Quantidade de água do fluxo de água da chuva no CRHS	C - 82
Equação 5.4 → Quantidade de água do fluxo de água do bombeamento no CRHS	C - 82
Equação 5.5 → Quantidade de água do fluxo de água do turbinamento no CRHS	C - 83
Equação 5.6 → Quantidade de água do fluxo de água do excedimento no CRHS	C - 83
Equação 5.7 → Quantidade de água do fluxo de água da evaporação no CRHS	C - 83
Equação 5.8 → Nível de água de cada fluxo de água no CRHS	C - 83
Equação 5.9 → Quantidade de energia hídrica potencial do CRHS	C - 83
Equação 5.10 → Variação da quantidade de energia hídrica potencial do CRHS entre dois períodos de tempo horários consecutivos	C - 83
Equação 5.11 → Quantidade de energia hídrica de cada fluxo de água no CRHS	C - 83
Equação 5.12 → Mudança da unidade de medida de “Joule” [J] para “Watt”-hora [W.h]	C - 83
Equação 5.13 → Potência hídrica de cada fluxo de água no CRHS	C - 84
Equação 5.14 → Potência eléctrica nominal produzida do GHE	C - 84
Equação 5.15 → Caudal nominal de turbinamento no GHE	C - 84
Equação 5.16 → Velocidade do fluxo de água à entrada do GHE	C - 84
Equação 5.17 → Potência eléctrica nominal do GHE, adaptada ao SAE_HDC	C - 84
Equação 5.18 → Quantidade de água do fluxo de água da chuva no CRHI	C - 85
Equação 5.19 → Quantidade de água do fluxo de água do turbinamento no CRHI	C - 85
Equação 5.20 → Quantidade de água do fluxo de água do bombeamento no CRHI	C - 85
Equação 5.21 → Quantidade de água do fluxo de água do excedimento no CRHI	C - 85
Equação 5.22 → Quantidade de água do fluxo de água da evaporação no CRHI	C - 85
Equação 5.23 → Nível de água de cada fluxo de água no CRHI	C - 85
Equação 5.24 → Potência eléctrica nominal consumida do MEH	C - 86
Equação 5.25 → Velocidade do fluxo de água no topo e à entrada do CRHS	C - 86
Equação 5.26 → Velocidade mínima do fluxo de água à saída do MEH	C - 86
Equação 5.27 → Potência eléctrica nominal mínima consumida para o MEH	C - 86

L1.2 - Lista de figuras

Figura 1.1 → Utilização dos recursos naturais e resíduos «[22]»	C - 4
Figura 1.2 → Dimensões ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável «[22]»	C - 4
Figura 3.1 → Esquema de localização dos componentes do equipamento no SEH existente .	C - 26
Figura 3.2 → Esquema das formas-de-energia principais no SEH existente com ligações incompletas no BCEE	C - 29
Figura 4.1 → Esquema das formas-de-energia principais no SEH só com armazenamento de E_HDC	C - 36
Figura 4.2 → Esquema das formas-de-energia principais no SAE_HDC	C - 37

Figura 4.3 → Esquema das formas-de-energia principais no SEH com armazenamento de E_ELO e de E_HDC	C - 37
Figura 4.4 → Esquema das formas-de-energia principais no SEH só com armazenamento de E_HDG	C - 40
Figura 4.5 → Esquema das formas-de-energia principais no SAE_HDG	C - 40
Figura 4.6 → Esquema das formas-de-energia principais no SEH com armazenamento de E_ELO, de E_HDC e de E_HDG	C - 41
Figura 5.1 → Esquema das formas-de-energia principais no SEH só com armazenamento de E_ELO	C - 43
Figura 5.2 → Esquema dos componentes principais no SAE_ELO	C - 44
Figura 5.3 → Fluxograma da rotina principal para o uso do SAE_ELO	C - 45
Figura 5.4 → Fluxograma da sub-rotina 1 para colocar energia no SAE_ELO	C - 45
Figura 5.5 → Fluxograma da sub-rotina 2 para retirar energia do SAE_ELO	C - 46
Figura 5.6 → Esquema das formas-de-energia principais no SEH só com armazenamento de E_HDC	C - 79
Figura 5.7 → Esquema dos componentes principais no SAE_HDC	C - 80
Figura 5.8 → Fluxograma da rotina principal para o uso do SAE_HDC	C - 87
Figura 5.9 → Fluxograma da sub-rotina 1 para colocar energia no SAE_HDC	C - 88
Figura 5.10 → Fluxograma da sub-rotina 2 para retirar energia do SAE_HDC	C - 88
Figura 5.11 → Esquema das formas-de-energia principais no SEH com armazenamento de E_ELO e de E_HDC	C - 90
Figura 5.12 → Fluxograma da rotina principal para o uso do SAE_ELO e do SAE_HDC	C - 92
Figura 5.13 → Fluxograma da sub-rotina 1 para colocar energia no SAE_HDC	C - 93
Figura 5.14 → Fluxograma da sub-rotina 2 para retirar energia do SAE_HDC	C - 94
Figura 5.15 → Fluxograma da sub-rotina 3 para colocar energia no SAE_ELO	C - 95
Figura 5.16 → Fluxograma da sub-rotina 4 para retirar energia do SAE_ELO	C - 95
Figura 6.1 → Janela inicial 1	C - 109
Figura 6.2 → Janela inicial 2	C - 110
Figura 6.3 → Janela inicial 3	C - 110
Figura 6.4 → Janela principal	C - 111
Figura 6.5 → Janela de selecção de um componente do SEG	C - 113
Figura 6.6 → Janela de introdução de dados para o recurso de E_SLR	C - 113
Figura 6.7 → Janela de introdução de dados para o recurso de E_EÓL	C - 114
Figura 6.8 → Janela de introdução de dados para o GSFE	C - 114
Figura 6.9 → Janela de introdução de dados para o GEE	C - 115
Figura 6.10 → Janela de introdução de dados para o CBEQ	C - 115
Figura 6.11 → Janela de introdução de dados para o SCEE	C - 116
Figura 6.12 → Janela de introdução de dados dos parâmetros de simulação	C - 117
Figura 6.13 → Janela de informação sobre o cálculo da simulação	C - 117
Figura 6.14 → Janela de escolha do modo de visualização da simulação	C - 118
Figura 6.15 → Janela de introdução da temporização de visualização da simulação automática	C - 118
Figura 6.16 → Janela de visualização da simulação automática	C - 119
Figura 6.17 → Janela de visualização da simulação manual sem relatório resumido	C - 119
Figura 6.18 → Janela de visualização da simulação manual com relatório resumido na parte «Antes da Entrada no SEH»	C - 120
Figura 6.19 → Janela de visualização da simulação manual com relatório resumido na parte «No Interior do SEH»	C - 120
Figura 6.20 → Janela de visualização da simulação manual com relatório resumido na parte «Depois da Saída do SEH»	C - 121

Figura 6.21 → Janela de informação sobre o cálculo da simulação do SEH com SPPM	C - 122
Figura 6.22 → Janela de informação sobre o cálculo da simulação do SEH sem SPPM	C - 122
Figura 7.1 → Janela inicial 2, do programa da versão 1.5	C - 131
Figura 7.2 → Janela inicial 3, do programa da versão 1.5	C - 132
Figura 7.3 → Janela principal, do programa da versão 1.5	C - 132
Figura 7.4 → Janela inicial 1, do programa da versão 2.0	C - 144
Figura 7.5 → Janela inicial 2, do programa da versão 2.0	C - 145
Figura 7.6 → Janela inicial 3, do programa da versão 2.0	C - 145
Figura 7.7 → Janela principal, do programa da versão 2.0	C - 146
Figura 7.8 → Janela de selecção de um componente do SEG	C - 147
Figura 7.9 → Janela de introdução de dados para o recurso de E_HDC	C - 147
Figura 7.10 → Janela de introdução de dados para os componentes do SAE_HDC	C - 148
Figura 7.11 → Janela inicial 2, do programa da versão 2.5	C - 149
Figura 7.12 → Janela inicial 3, do programa da versão 2.5	C - 150
Figura 7.13 → Janela principal, do programa da versão 2.5	C - 150
Figura 7.14 → Janela de selecção de um componente do SEG	C - 151
Figura A1.1.1 → Janela de introdução de dados para o recurso energético solar (E_SLR)	A - 1
Figura A1.1.2 → Janela de introdução de dados para o recurso energético eólico (E_EÓL) ...	A - 1
Figura A1.1.3 → Janela de introdução de dados para o recurso energético hídrico (E_HDC) .	A - 2
Figura A1.2.1 → Janela de introdução de dados para o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE)	A - 2
Figura A1.2.2 → Janela de introdução de dados para o gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE)	A - 3
Figura A1.2.3 → Janela de introdução de dados para o conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ)	A - 3
Figura A1.2.4 → Janela de introdução de dados para o conjunto de dispositivos conversores do tipo de corrente eléctrica (CTCE)	A - 3
Figura A1.2.5 → Janela de introdução de dados para as tarifas (ou taxas) da rede eléctrica exterior (REE)	A - 4
Figura A1.2.6 → Janela de introdução de dados para as emissões de poluentes da rede eléctrica exterior (REE)	A - 4
Figura A1.2.7 → Janela de introdução de dados para os parâmetros avançados da rede eléctrica exterior (REE)	A - 4
Figura A1.2.8 → Janela de introdução de dados para as tarifas (ou taxas) da rede eléctrica exterior (REE) para projectos de sistema energético da 1ª expansão	A - 5
Figura A1.2.9 → Janela de introdução de dados para o gerador hidro-eléctrico (GHE)	A - 5
Figura A1.3.1 → Janela de introdução de dados para a ‘carga-de-sistema’ primária de índice 1 (CSP1) e para o 1º período semestral	A - 6
Figura A1.3.2 → Janela de introdução de dados para a ‘carga-de-sistema’ primária de índice 1 (CSP1) e para o 2º período semestral	A - 6
Figura A1.3.3 → Janela de introdução de dados para a ‘carga-de-sistema’ diferida do bombeamento de água (CSDBA) e para projectos de sistema energético da 1ª expansão	A - 7
Figura A1.4.1 → Janela de introdução de dados para parâmetros económicos do sistema energético	A - 8
Figura A1.4.2 → Janela de introdução de dados para controlo de sistema	A - 8
Figura A1.4.3 → Janela de introdução de dados para extensão da rede eléctrica	A - 8
Figura A1.4.4 → Janela de introdução de dados para emissões de substâncias poluentes	A - 9

Figura A1.4.5 → Janela de introdução de dados para restrições de praticabilidade dos sistemas	A - 9
Figura A1.5.1 → Janela de resultados de optimização do projecto de sistema energético «C2-2_CLRE_2»	A - 10
Figura A1.5.2 → Janela de relatório de optimização do projecto de sistema energético «C2-2_CLRE_2»	A - 10
Figura A1.5.3 → Parte da janela com custos da melhor configuração do projecto «C2-2_CLRE_2»	A - 11
Figura A1.5.4 → Parte da janela com resultados de electricidade da melhor configuração do projecto «C2-2_CLRE_2»	A - 11
Figura A1.5.5 → Parte da janela com resultados do GSFE da melhor configuração do projecto «C2-2_CLRE_2»	A - 12
Figura A1.5.6 → Parte da janela com resultados do CBEQ da melhor configuração do projecto «C2-2_CLRE_2»	A - 12
Figura A1.5.7 → Parte da janela com resultados do REE da melhor configuração do projecto «C2-2_CLRE_2»	A - 13
Figura A1.5.8 → Janela de resultados de optimização do projecto de sistema energético «C2-3_CLRE»	A - 13
Figura A1.5.9 → Janela de relatório de optimização do projecto de sistema energético «C2-3_CLRE»	A - 14
Figura A1.5.10 → Parte da janela com custos da melhor configuração do projecto «C2-3_CLRE»	A - 14
Figura A1.5.11 → Parte da janela com resultados de electricidade da melhor configuração do projecto «C2-3_CLRE»	A - 14
Figura A1.6.1 → Janela de introdução de dados para os parâmetros de sensibilidade nos projectos do SEH existente	A - 15
Figura A1.6.2 → Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA e da VV_MA, para o projecto do SEH existente com o código «C2-1_SLRE_1»	A - 15
Figura A1.6.3 → Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA e da VV_MA, para o projecto do SEH existente com o código «C2-2_CLRE_2»	A - 15
Figura A1.6.4 → Janela de introdução de dados para os parâmetros de sensibilidade nos projectos do SEH da primeira expansão	A - 16
Figura A1.6.5 → Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA, da VV_MA e do CCA_MA, estando fixado CCA_MA = 2,5 [l/s], para o projecto do SEH da 1ª expansão «C2-1_SLRE»	A - 16
Figura A1.6.6 → Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA, da VV_MA e do CCA_MA, estando fixado CCA_MA = 5,15 [l/s], para o projecto do SEH da 1ª expansão «C2-1_SLRE»	A - 16
Figura A1.6.7 → Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA, da VV_MA e do CCA_MA, estando fixado CCA_MA = 7,5 [l/s], para o projecto do SEH da 1ª expansão «C2-1_SLRE»	A - 17
Figura A1.6.8 → Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA, da VV_MA e do CCA_MA, estando fixado CCA_MA = 2,5 [l/s], para o projecto do SEH da 1ª expansão «C2-3_CLRE»	A - 17
Figura A1.6.9 → Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA, da VV_MA e do CCA_MA, estando fixado CCA_MA = 5,15 [l/s], para o projecto do SEH da 1ª expansão «C2-3_CLRE»	A - 18

Figura A1.6.10 → Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA, da VV_MA e do CCA_MA, estando fixado CCA_MA = 7,5 [l/s], para o projecto do SEH da 1ª expansão «C2-3_CLRE» A - 18

L1.3 - Lista de fotografias

Fotografia 3.1 → Local 1	C - 27
Fotografia 3.2 → Local 2	C - 27
Fotografia 3.3 → Local 3	C - 27
Fotografia 3.4 → Dispositivos no local 1	C - 31
Fotografia 3.5 → Dispositivos afixados na parede no local 2	C - 32
Fotografia 3.6 → Dispositivos sobre a mesa pequena no local 2	C - 33
Fotografia 3.7 → Dispositivos sobre uma mesa grande no local 2	C - 33

L1.4 - Lista de gráficos

Gráfico 5.1 → Valores da potência eléctrica do GSFE em função da temperatura do ar (T_AR) e da intensidade de radiação solar global (I_RS_G), considerando que I_RS_G incidente num plano horizontal é aproximadamente igual à I_RS_G incidente no plano dos painéis fotovoltaicos	C - 52
Gráfico 5.2 → Valores médios da intensidade de radiação solar global (I_RS_G), em função do tempo cronológico	C - 52
Gráfico 5.3 → Valores médios da temperatura do ar (T_AR), em função do tempo cronológico	C - 52
Gráfico 5.4 → Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético solar e da potência de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico	C - 53
Gráfico 5.5 → Valores diferenciais da quantidade de energia de disponibilidade do recurso energético solar e da quantidade de energia de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico	C - 53
Gráfico 5.6 → Valores integrativos da quantidade de energia de disponibilidade do recurso energético solar e da quantidade de energia de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico	C - 53
Gráfico 5.7 → Valores da potência eléctrica do GEE em função da velocidade do vento (VV)	C - 54
Gráfico 5.8 → Valores médios da velocidade do vento (VV), em função do tempo cronológico	C - 54
Gráfico 5.9 → Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético eólico e da potência de produção eléctrica do GEE, em função do tempo cronológico	C - 54
Gráfico 5.10 → Valores diferenciais da quantidade de energia de disponibilidade do recurso energético eólico e da quantidade de energia de produção eléctrica do GEE, em função do tempo cronológico	C - 55
Gráfico 5.11 → Valores integrativos da quantidade de energia de disponibilidade do recurso energético eólico e da quantidade de energia de produção eléctrica do GEE, em função do tempo cronológico	C - 55
Gráfico 5.12 → Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico	C - 55
Gráfico 5.13 → Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 56

Gráfico 5.14	→ Valores diferenciais da quantidade de energia de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da quantidade de energia de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 56
Gráfico 5.15	→ Valores integrativos da quantidade de energia de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da quantidade de energia de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 56
Gráfico 5.16	→ Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de produções eléctricas parciais de GSFE, de GEE e de CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 57
Gráfico 5.17	→ Valores médios da potência de consumo eléctrico do SCEE e da potência de consumo eléctrico do CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 57
Gráfico 5.18	→ Valores diferenciais da quantidade de energia ‘electrolítica’ consumida no CBEQ e da quantidade de energia ‘electrolítica’ produzida no CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 57
Gráfico 5.19	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 58
Gráfico 5.20	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 58
Gráfico 5.21	→ Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos de produções eléctricas relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 58
Gráfico 5.22	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 59
Gráfico 5.23	→ Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica, relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 59
Gráfico 5.24	→ Valores da potência eléctrica do GSFE em função da temperatura do ar (T_{AR}) e da intensidade de radiação solar global (I_{RS_G}), considerando que I_{RS_G} incidente num plano horizontal é aproximadamente igual à I_{RS_G} incidente no plano dos painéis fotovoltaicos	C - 61
Gráfico 5.25	→ Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético solar e da potência de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico	C - 61
Gráfico 5.26	→ Valores diferenciais da quantidade de energia de disponibilidade do recurso energético solar e da quantidade de energia de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico	C - 61
Gráfico 5.27	→ Valores integrativos da quantidade de energia de disponibilidade do recurso energético solar e da quantidade de energia de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico	C - 62
Gráfico 5.28	→ Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico	C - 62
Gráfico 5.29	→ Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 62
Gráfico 5.30	→ Valores diferenciais da quantidade de energia de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da quantidade de energia de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 63
Gráfico 5.31	→ Valores integrativos da quantidade de energia de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da quantidade de energia de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 63

Gráfico 5.32	→ Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de produções eléctricas parciais de GSFE, de GEE e de CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 63
Gráfico 5.33	→ Valores médios da potência de consumo eléctrico do SCEE e da potência de consumo eléctrico do CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 64
Gráfico 5.34	→ Valores diferenciais da quantidade de energia ‘electrolítica’ consumida no CBEQ e da quantidade de energia ‘electrolítica’ produzida no CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 64
Gráfico 5.35	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 64
Gráfico 5.36	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 65
Gráfico 5.37	→ Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos de produções eléctricas relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 65
Gráfico 5.38	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 65
Gráfico 5.39	→ Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica, relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 66
Gráfico 5.40	→ Valores da potência eléctrica do GSFE em função da temperatura do ar (T_{AR}) e da intensidade de radiação solar global (I_{RS_G}), considerando que I_{RS_G} incidente num plano horizontal é aproximadamente igual à I_{RS_G} incidente no plano dos painéis fotovoltaicos	C - 70
Gráfico 5.41	→ Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético solar e da potência de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico	C - 70
Gráfico 5.42	→ Valores da potência eléctrica do GEE em função da velocidade do vento (VV)	C - 70
Gráfico 5.43	→ Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético eólico e da potência de produção eléctrica do GEE, em função do tempo cronológico	C - 71
Gráfico 5.44	→ Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico	C - 71
Gráfico 5.45	→ Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 71
Gráfico 5.46	→ Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de produções eléctricas parciais de GSFE, de GEE e de CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 72
Gráfico 5.47	→ Valores médios da potência de consumo eléctrico do SCEE e da potência de consumo eléctrico do CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 72
Gráfico 5.48	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 72
Gráfico 5.49	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 73
Gráfico 5.50	→ Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos de produções eléctricas relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 73
Gráfico 5.51	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 74

Gráfico 5.52	→ Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica, relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 74
Gráfico 5.53	→ Valores da potência eléctrica do GSFE em função da temperatura do ar (T_AR) e da intensidade de radiação solar global (I_RS_G), considerando que I_RS_G incidente num plano horizontal é aproximadamente igual à I_RS_G incidente no plano dos painéis fotovoltaicos	C - 76
Gráfico 5.54	→ Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético solar e da potência de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico	C - 76
Gráfico 5.55	→ Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico	C - 76
Gráfico 5.56	→ Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 77
Gráfico 5.57	→ Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de produções eléctricas parciais de GSFE, de GEE e de CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 77
Gráfico 5.58	→ Valores médios da potência de consumo eléctrico do SCEE e da potência de consumo eléctrico do CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 77
Gráfico 5.59	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 78
Gráfico 5.60	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 78
Gráfico 5.61	→ Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 101
Gráfico 5.62	→ Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de produções eléctricas parciais do GSFE, do GEE, do GHE e do CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 101
Gráfico 5.63	→ Valores médios da potência de consumo eléctrico do SCEE e da potência de consumos eléctricos do MEH e do CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 101
Gráfico 5.64	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 102
Gráfico 5.65	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS, em função do tempo cronológico	C - 102
Gráfico 5.66	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do GHE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 102
Gráfico 5.67	→ Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos de produções eléctricas relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 103
Gráfico 5.68	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 103
Gráfico 5.69	→ Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica, relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 103
Gráfico 5.70	→ Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 106

Gráfico 5.71	→ Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de produções eléctricas parciais do GSFE, do GEE, do GHE e do CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 106
Gráfico 5.72	→ Valores médios da potência de consumo eléctrico do SCEE e da potência de consumos eléctricos do MEH e do CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 106
Gráfico 5.73	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico	C - 107
Gráfico 5.74	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS, em função do tempo cronológico	C - 107
Gráfico 5.75	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico	C - 108
Gráfico 6.1	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH	C - 124
Gráfico 6.2	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH	C - 124
Gráfico 6.3	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH	C - 124
Gráfico 6.4	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH	C - 125
Gráfico 6.5	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH	C - 125
Gráfico 6.6	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH	C - 125
Gráfico 6.7	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH	C - 126
Gráfico 6.8	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH	C - 126
Gráfico 6.9	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH	C - 126
Gráfico 6.10	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 2ª configuração do SEH	C - 127
Gráfico 6.11	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 2ª configuração do SEH	C - 127
Gráfico 6.12	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 2ª configuração do SEH	C - 127
Gráfico 6.13	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH	C - 128

- Gráfico 6.14 → Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH C - 128
- Gráfico 6.15 → Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH C - 128
- Gráfico 6.16 → Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 2ª configuração do SEH C - 129
- Gráfico 6.17 → Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 2ª configuração do SEH C - 129
- Gráfico 6.18 → Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 2ª configuração do SEH C - 129
- Gráfico 7.1 → Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético eólico e da potência de produção eléctrica do GEE, em função do tempo cronológico, para os dias de 2 a 4 e para as duas configurações do SEH C - 136
- Gráfico 7.2 → Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico, para os dias de 2 a 4 e para a 1ª configuração do SEH C - 136
- Gráfico 7.3 → Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico, para os dias de 2 a 4 e para a 2ª configuração do SEH C - 136
- Gráfico 7.4 → Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH C - 137
- Gráfico 7.5 → Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH C - 137
- Gráfico 7.6 → Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH C - 137
- Gráfico 7.7 → Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH C - 138
- Gráfico 7.8 → Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH C - 138
- Gráfico 7.9 → Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH C - 138
- Gráfico 7.10 → Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH C - 139
- Gráfico 7.11 → Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH C - 139
- Gráfico 7.12 → Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH C - 139

Gráfico 7.13	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 2ª configuração do SEH	C - 140
Gráfico 7.14	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 2ª configuração do SEH	C - 140
Gráfico 7.15	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 2ª configuração do SEH	C - 140
Gráfico 7.16	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH	C - 141
Gráfico 7.17	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH	C - 141
Gráfico 7.18	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH	C - 141
Gráfico 7.19	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 2ª configuração do SEH	C - 142
Gráfico 7.20	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 2ª configuração do SEH	C - 142
Gráfico 7.21	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 2ª configuração do SEH	C - 142
Gráfico 7.22	→ Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH	C - 154
Gráfico 7.23	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH	C - 154
Gráfico 7.24	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH	C - 154
Gráfico 7.25	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do GHE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH	C - 155
Gráfico 7.26	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH	C - 155
Gráfico 7.27	→ Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH	C - 155
Gráfico 7.28	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH	C - 156
Gráfico 7.29	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH	C - 156

Gráfico 7.30	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do GHE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH	C - 156
Gráfico 7.31	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH	C - 157
Gráfico 7.32	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH	C - 157
Gráfico 7.33	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH	C - 157
Gráfico 7.34	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do GHE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH	C - 158
Gráfico 7.35	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH	C - 158
Gráfico 7.36	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH	C - 158
Gráfico 7.37	→ Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH	C - 159
Gráfico 7.38	→ Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do GHE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH	C - 159
Gráfico 7.39	→ Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH	C - 159

L1.5 - Lista de quadros

Quadro 8.1	→ Balanços energéticos das melhores configurações para os projectos de sistema energético	C - 169
Quadro 8.2	→ Balanços energéticos das melhores configurações para os projectos de sistema energético da 1ª expansão	C - 178

L1.6 - Lista de tabelas

Tabela 3.1	→ Designações dos dispositivos no local 1	C - 31
Tabela 3.2	→ Designações dos dispositivos afixados na parede no local 2	C - 32
Tabela 3.3	→ Designações dos dispositivos sobre a mesa pequena no local 2	C - 33
Tabela 3.4	→ Designações dos dispositivos sobre uma mesa grande no local 2	C - 33
Tabela 5.1	→ Dados para os parâmetros do tempo climático e para o consumo eléctrico do SCEE	C - 49

Tabela 5.2 → Resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no SEH sem SPPM	C - 50
Tabela 5.3 → Resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no SEH com SPPM	C - 60
Tabela 5.4 → Dados para os parâmetros do tempo climático e para o consumo eléctrico do SCEE	C - 68
Tabela 5.5 → Resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no SEH sem SPPM	C - 69
Tabela 5.6 → Resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no SEH com SPPM	C - 75
Tabela 5.7 → Dados para os parâmetros do tempo climático relacionados com água	C - 99
Tabela 5.8 → Resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no SEH sem SPPM	C - 100
Tabela 5.9 → Resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no SEH com SPPM	C - 105
Tabela 6.1 → Comparação entre valores introduzidos e valores calculados dos parâmetros do GSFE com ligação directa ao CBEQ	C - 123
Tabela 7.1 → Comparação entre valores introduzidos e valores calculados dos parâmetros do GSFE com ligação directa ao CBEQ	C - 133
Tabela 7.2 → Comparação entre valores introduzidos e valores calculados dos parâmetros do GSFE com ligação indirecta ao CBEQ através de um SPPM	C - 134
Tabela 7.3 → Dados para os parâmetros do tempo climático e para o consumo eléctrico do SCEE	C - 135
Tabela 7.4 → Dados para os parâmetros do tempo climático e para o consumo eléctrico do SCEE	C - 153
Tabela 8.1 → Características principais da composição dos projectos de sistema energético para simulação e análise	C - 162
Tabela 8.2 → Dados da intensidade de radiação solar global por dia, em valor médio mensal	C - 162
Tabela 8.3 → Dados da velocidade do vento, em valor médio mensal	C - 163
Tabela 8.4 → Dados do consumo de electricidade para cada hora de um dia, em dois períodos semestrais	C - 165
Tabela 8.5 → Relatórios de optimização dos projectos de sistema energético	C - 167
Tabela 8.6 → Arquitecturas de sistema das melhores configurações para os projectos de sistema energético	C - 168
Tabela 8.7 → Custos principais das melhores configurações para os projectos de sistema energético	C - 168
Tabela 8.8 → Parâmetros de saldo energético das melhores configurações para os projectos de sistema energético	C - 170
Tabela 8.9 → Distâncias máximas de extensão da rede eléctrica	C - 171
Tabela 8.10 → Características principais da composição dos projectos de sistema energético da 1ª expansão para simulação e análise	C - 173
Tabela 8.11 → Dados do caudal da corrente-de-água, em valor médio mensal	C - 174
Tabela 8.12 → Relatórios de optimização dos projectos de sistema energético da 1ª expansão	C - 176
Tabela 8.13 → Arquitecturas de sistema das melhores configurações para os projectos de sistema energético da 1ª expansão	C - 177

Tabela 8.14	→ Custos principais das melhores configurações para os projectos de sistema energético da 1ª expansão	C - 177
Tabela 8.15	→ Parâmetros de saldo energético das melhores configurações para os projectos de sistema energético da 1ª expansão	C - 178
Tabela 8.16	→ Dados e resultados de realização do cálculo de simulação na análise de sensibilidade para os projectos do SEH existente	C - 180
Tabela 8.17	→ Arquitecturas de sistema das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH existente com o código «C2-1_SLRE_1»	C - 181
Tabela 8.18	→ Custos principais e parâmetros de restrições das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH existente com o código «C2-1_SLRE_1»	C - 181
Tabela 8.19	→ Arquitecturas de sistema das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH existente com o código «C2-2_CLRE_2»	C - 182
Tabela 8.20	→ Custos principais e parâmetros de restrições das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH existente com o código «C2-2_CLRE_2»	C - 182
Tabela 8.21	→ Dados e resultados de realização do cálculo de simulação na análise de sensibilidade para os projectos do SEH da primeira expansão	C - 183
Tabela 8.22	→ Arquitecturas de sistema das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH da primeira expansão com o código «C2-1_SLRE» ..	C - 184
Tabela 8.23	→ Custos principais e parâmetros de restrições das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH da primeira expansão com o código «C2-1_SLRE»	C - 185
Tabela 8.24	→ Arquitecturas de sistema das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH da primeira expansão com o código «C2-3_CLRE» .	C - 186
Tabela 8.25	→ Custos principais e parâmetros de restrições das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH da primeira expansão com o código «C2-3_CLRE»	C - 187

Listas de abreviaturas e símbolos

L2.1 - Lista de abreviaturas de unidades de medida

[?] → (Designação da unidade de medida; Parâmetro relacionado com a unidade de medida; Comentários)

[a] → (ano; Tempo cronológico; Para valores numéricos reais)

[ano] → (ano; Tempo cronológico; Para valores numéricos inteiros)

[mês] → (mês; Tempo cronológico; Para valores numéricos reais entre 0 e $+\infty$, e para valores numéricos inteiros entre 1 e 12)

[d] → (dia; Tempo cronológico; Para valores numéricos reais entre 0 e $+\infty$)

[dia] → (dia; Tempo cronológico; Para valores numéricos inteiros entre 1 e 366)

[h] → (hora; Tempo cronológico; Para valores numéricos reais entre 0 e $+\infty$)

[hor] → (hora; Tempo cronológico; Para valores numéricos inteiros entre 0 e 23)

[min] → (minuto; Tempo cronológico; Para valores numéricos reais entre 0 e $+\infty$, e para valores numéricos inteiros entre 0 e 59)

[s] → (segundo; Tempo cronológico; Para valores numéricos reais entre 0 e $+\infty$)

[seg] → (segundo; Tempo cronológico; Para valores numéricos inteiros entre 0 e 59)

[m] → (metro; Comprimento de uma linha; -----)

[mm] → (milímetro; Comprimento de uma linha; -----)

$$1 \text{ [mm]} = 0,001 \text{ [m]}$$

[km] → (quilómetro; Comprimento de uma linha; -----)

$$1 \text{ [km]} = 1.000 \text{ [m]}$$

[m²] → (metro-quadrado, ou metro ao quadrado; Área de uma superfície; -----)

$$[\text{m}^2] = [\text{m}^2]$$

[m³] → (metro cúbico; Volume de um espaço geométrico; -----)

$$[\text{m}^3] = [\text{m}^3]$$

[m/s] → (metro por segundo; Velocidade linear; -----)

$$[\text{m/s}] = [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

[m/s²] → (metro por segundo ao quadrado; Aceleração linear; -----)

$$[\text{m/s}^2] = [\text{m/s}^2] = [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$$

[l] → (litro; Capacidade volúmica, ou volume de um espaço geométrico; -----)

$$1 \text{ [l]} = 1 \text{ [dm}^3\text{]}$$

[kl] → (quilolitro; Capacidade volúmica, ou volume de um espaço geométrico; -----)

$$1 \text{ [kl]} = 1.000 \text{ [l]} = 1 \text{ [m}^3\text{]}$$

[l/h] → (litro por hora; Caudal de um fluido; -----)

[m³/s] → (metro cúbico por segundo; Caudal de um fluido; -----)

$$1 \text{ [m}^3\text{/s]} = 3.600.000 \text{ [l/h]}$$

[l/m²/h] → (litro por metro-quadrado por hora; Intensidade do fluxo de um fluido; -----)

[N/m³] → (“Newton” por metro cúbico; Peso volúmico de um fluido; -----)

[kg] → (quilograma; Massa física; -----)

[°] → (grau; Amplitude de ângulo; -----)

[Hz] → (“Hertz”; Frequência; -----)

[rot/min] → (rotação por minuto; Velocidade de rotação; -----)

[°C] → (grau centígrado, ou grau “Celsius”; Temperatura; -----)

[% / °C] → (por cento por grau centígrado; Coeficiente de temperatura em percentagem; -----)

[A] → (“Ampère”; Intensidade de corrente eléctrica; -----)

[V] → (“Volt”; Tensão eléctrica; -----)

[V.A] → (“Volt-Ampère”; Potência eléctrica complexa; -----)

[W] → (“Watt”; Potência; -----)

[kW] → (quilo-“Watt”; Potência; -----)

$$1 \text{ [kW]} = 1.000 \text{ [W]}$$

[MW] → (mega-“Watt”; Potência; -----)

$$1 \text{ [MW]} = 1.000.000 \text{ [W]}$$

[W.h] → (“Watt”-hora; Quantidade de energia; -----)

[kW.h] → (quilo-“Watt”-hora; Quantidade de energia; -----)

$$1 \text{ [kW.h]} = 1.000 \text{ [W.h]}$$

[MW.h] → (mega-“Watt”-hora; Quantidade de energia; -----)

$$1 \text{ [MW.h]} = 1.000.000 \text{ [W.h]}$$

[J] → (“Joule”; Quantidade de energia; -----)

$$1 \text{ [J]} = 1 \text{ [W.s]} = 1/3.600 \text{ [W.h]}$$

[A.h] → (“Ampère”-hora; Intensidade de corrente eléctrica durante uma hora; Para a capacidade de armazenamento energético de uma bateria electroquímica)

[W/m²] → (“Watt” por metro-quadrado; Densidade de potência por unidade de área; -----)

[kW.h/m²/d] → (quilo-“Watt”-hora por metro-quadrado por dia; Densidade de quantidade de energia por unidade de área durante um dia; -----)

[kW.h/d] → (quilo-“Watt”-hora por dia; Quantidade de energia diária; -----)

[kW.h/ano] → (quilo-“Watt”-hora por ano; Quantidade de energia anual; -----)

[€] → (euro; Quantia, ou quantidade de dinheiro; Moeda da União Europeia (UE))

[\$] → (dólar, ou dólar estado-unidense-americano; Quantia, ou quantidade de dinheiro; Moeda dos Estados Unidos da América (EUA))

[€/ano] → (euro por ano; Quantia por unidade de tempo cronológico, ou quantia anual; Na moeda da União Europeia)

[€/(kW.h)] → (euro por quilo-“Watt”-hora; Quantia por unidade da quantidade de energia relativa a uma hora; Na moeda da União Europeia)

[€/km] → (euro por quilómetro; Quantia por unidade de comprimento de uma linha, ou quantia quilométrica; Na moeda da União Europeia)

[€/ano/km] → (euro por ano e por quilómetro; Quantia anual quilométrica; Na moeda da União Europeia)

[%] → (por cento; Percentagem; Factor de percentagem: [%] = 1/100 = 0,01)

L2.2 - Lista de siglas de dispositivos e sistemas

AEA → aparelho de electrólise da água

BCEE → conjunto de barramentos e conversores de energia eléctrica

BEQ → bateria electroquímica

CBEQ → conjunto de baterias electroquímicas

- C_CA_CC → conversor de corrente alternada para corrente contínua
 C_CC_CA → conversor de corrente contínua para corrente alternada
 CGEE → conjunto de geradores ‘eolo-eléctricos’
 CRHI → conjunto de reservatórios hídricos inferiores
 CRHS → conjunto de reservatórios hídricos superiores
 CSDBA → ‘carga-de-sistema’ diferida para bombeamento de água
 CSP1 → ‘carga-de-sistema’ primária de índice 1
 CTCE → conjunto de conversores do tipo de corrente eléctrica
 CTCE = CVAC + CVCA
 CVAC → conjunto de conversores de corrente alternada para corrente contínua
 CVCA → conjunto de conversores de corrente contínua para corrente alternada
 DAE → dispositivo armazenador de energia
 DPEE → dispositivo produtor de energia eléctrica
 GEE → gerador ‘eolo-eléctrico’
 GE_HDG_Q → gerador eléctrico de energia ‘hidrogénica’ por processo químico
 GHE → gerador hidro-eléctrico
 GSFE → gerador ‘solar-foto-eléctrico’
 MEH → motor ‘electro-hídrico’
 PFV → painel fotovoltaico
 R_ÁG → reservatório para água
 REE → rede eléctrica exterior
 RETD → resistência ‘electro-térmica’ de despejo
 RGH → reservatório para gás de hidrogénio
 RGO → reservatório para gás de oxigénio
 RHI → reservatório hídrico inferior
 RHS → reservatório hídrico superior
 SAE → sistema armazenador de energia
 SAE_ELO → sistema armazenador de energia ‘electrolítica’
 SAE_HDC → sistema armazenador de energia hídrica
 SAE_HDG → sistema armazenador de energia ‘hidrogénica’
 SCEE (1) → sistema consumidor de energia eléctrica
 SCEE (2) → sistema consumidor eléctrico externo
 SCEE (2) = SCEE_E
 SCEE_E → sistema consumidor de energia eléctrica, externo ao SEH
 SCEE_I → sistema consumidor de energia eléctrica, interno ao SEH
 SEFV → sistema energético fotovoltaico
 SEG → sistema energético global
 SEH → sistema energético híbrido
 SPEE → sistema produtor de energia eléctrica
 SPEE_P → sistema produtor de energia eléctrica, para aproveitamento energético principal no SEH
 SPEP
 SPEP → sistema produtor eléctrico principal
 SPEE = SPEE_P = SPEP
 SPPM → seguidor do ponto de potência máxima
 SPPM ←(P,I)— “MPPT”

 “MPPT” → “maximum power point tracker”
 “MPPT” —(I,P)→ SPPM

L2.3 - Lista de siglas de formas-de-energia

E_CLR → energia calorífica, ou energia térmica superior à temperatura de referência
 E_EÓL → energia eólica
 E_ELO → energia ‘electrolítica’, ou energia electroquímica do electrólito
 E_ELT → energia eléctrica
 E_HDC → energia hídrica, ou energia gravítica da água
 E_HDC_C → energia hídrica cinética
 E_HDC_P → energia hídrica potencial
 E_HDG → energia ‘hidrogénica’, ou energia química do hidrogénio
 E_ILM → energia ‘iluminante’, ou energia da luz artificial para iluminação
 E_MCN_A → energia mecânica da água
 E_SLR → energia solar

L2.4 - Lista de siglas diversas

AE → armazenamento energético
 AH → armazenamento hídrico
 CA → corrente alternada
 CC → corrente contínua
 CCA → caudal da corrente-de-água
 CCA_MA → caudal da corrente-de-água, em valor médio anual
 CCB → carregamento de ciclo de armazenamento do conjunto de baterias electroquímicas
 CE → consumo eléctrico
 CNE → custo nivelado de electricidade
 CTCI → custo total de capital inicial
 CT_TEP_VAL → custo total, durante o tempo de existência do projecto, em valor actual líquido
 DRE → disponibilidade do recurso energético
 DT_PE_CE → diferença entre o total de produção eléctrica e o total de consumo eléctrico
 ED → estratégia de despacho
 F_ER_PE → fracção de energia renovável na produção eléctrica
 FEUP → Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
 FGDR → ficheiro geral de dados e resultados
 FV → fotovoltaico
 I_RS_G → intensidade da radiação solar global
 IRS GD_MA → intensidade da radiação solar global diária, em valor médio anual
 ITF → instante de tempo final
 ITI → instante de tempo inicial
 LMN → limite mínimo
 LMX → limite máximo
 N_A → nível de água
 NINL → número internacional normalizado de livro
 NINL ←(P,I)— “ISBN”
 NPTH → número do período de tempo horário
 PE → produção eléctrica
 PECPA → percentagem do encurtamento de capacidade produtiva anual
 PPM → ponto de potência máxima
 PT → potência total
 PTC → potência

PTCR → passo de tempo cronológico
 PTH → período de tempo horário
 Q_A → quantidade de água
 QCA → quantidade de energia eléctrica consumida por ano
 QD → quantidade de dispositivos
 Q_E → quantidade de energia
 QET → quantidade de energia total
 QPA → quantidade de energia eléctrica produzida por ano
 RE → rendimento energético
 SCS → seguimento da carga-de-sistema
 T_AR → temperatura do ar
 TSHE → tipo de sistema energético relativamente à ‘hibridização’ da entrada de energia no sistema
 VA → valor absoluto médio
 VDF → valor diferencial
 VIT → valor integrativo
 VLN → valor limitativo mínimo
 VLX → valor limitativo máximo
 VMD → valor médio
 VP → valor proporcional em percentagem
 VV → velocidade do vento
 VV_MA → velocidade do vento, em valor médio anual
 “ISBN” → “international standard book number”
 “ISBN” —(I,P)→ NINL

L2.5 - Lista de símbolos

« ←(P,I)— » → tradução para o idioma português, a partir do idioma inglês
 « ←(P,F)— » → tradução para o idioma português, a partir do idioma francês
 « ←(P,E)— » → tradução para o idioma português, a partir do idioma espanhol
 « —(P,I)→ » → tradução do idioma português para o idioma inglês
 « —(P,F)→ » → tradução do idioma português para o idioma francês
 « —(P,E)→ » → tradução do idioma português para o idioma espanhol
 « —(I,P)→ » → tradução do idioma inglês para o idioma português
 « —(F,P)→ » → tradução do idioma francês para o idioma português
 « —(E,P)→ » → tradução do idioma espanhol para o idioma português

CO → símbolo químico do monóxido de carbono
 CO₂ → símbolo químico do dióxido de carbono
 H₂ → símbolo químico do gás de hidrogénio
 H₂O → símbolo químico da água
 O₂ → símbolo químico do gás de oxigénio
 NO_x → símbolo químico de óxidos de azoto (ou nitrogénio)
 Pb → símbolo do elemento químico chumbo
 SO₂ → símbolo químico do dióxido de enxofre

Capítulo 1 - Introdução

1.1 - Enquadramento dos problemas na gestão de sistemas energéticos híbridos

Actualmente, existe um aproveitamento crescente de energias renováveis, tais como a energia solar e a energia eólica, nos sistemas de energia para a produção de formas-de-energia úteis ao ser-humano e fáceis de usar, como por exemplo a energia eléctrica e a energia calorífica.

As formas-de-energia não-renováveis, tais como o carvão, o petróleo, e o gás natural, são finitas e não são renovadas num período de tempo inferior a 100 anos. Estas formas-de-energia não-renováveis são combustíveis fósseis, ou seja, são formas de energia química resultantes de fossilização, das quais se extrai energia convertendo-as em formas energéticas úteis através da combustão, o que resulta na libertação de gases de efeito-de-estufa para o ambiente e de outras substâncias poluentes. Devido à finitude dos combustíveis fósseis no prazo de algumas décadas ou de alguns séculos, e ao impacto muito negativo no ambiente podendo provocar alterações climáticas irreversíveis, é urgente que o ser-humano reduza o consumo de combustíveis fósseis e o substitua progressivamente por formas energéticas renováveis não-poluentes, tais como a energia solar, a energia eólica, a energia hídrica, a energia geotérmica, entre outras.

A mudança do paradigma de petróleo para um paradigma de energias renováveis pode ser feita conjugando energias não-renováveis com energias renováveis, ou juntando apenas energias renováveis, como formas-de-energia iniciais num sistema energético para a obtenção de uma determinada forma-de-energia útil ao ser-humano, por exemplo a energia eléctrica.

A conjugação de duas ou mais formas-de-energia iniciais num sistema energético leva ao surgimento do sistema energético híbrido, no qual existem problemas de gestão na captação de formas-de-energia iniciais que são intermitentes e não-armazenáveis, e consequentemente, no armazenamento de energia.

O uso de dispositivos conversores de energia, que sejam mais eficientes, permite obter a mesma quantidade de energia da forma energética final num sistema energético híbrido, para qual se utiliza menores quantidades das formas energéticas iniciais. A eficiência energética poderá ser averiguada e melhorada por meio da gestão operacional do sistema energético híbrido, verificando o rendimento energético de cada dispositivo em cada momento.

1.2 - Desafios técnicos e opções possíveis para a resolução dos problemas

Num sistema energético híbrido (SEH) cujas formas-de-energia de entrada são intermitentes e não-armazenáveis, tais como a energia solar e a energia eólica, para gerir o funcionamento desse sistema, é necessário ter informação sobre:

- o tempo climático que caracteriza os recursos energéticos naturais e que permite prever a disponibilidade destes recursos para o prazo de uma hora ou de algumas horas, ou para o prazo de um dia ou de alguns dias;
- os valores históricos e estatísticos do tempo climático, que servirão para comparar com os valores actuais;
- a capacidade de produção eléctrica dos dispositivos produtores de energia eléctrica, os seus rendimentos energéticos, e outras características destes dispositivos;
- a capacidade de armazenamento energético dos dispositivos armazenadores de energia, e outras características destes dispositivos;

- a previsão do consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo (SCEE).

Para obter informação sobre o tempo climático, pode-se consultar alguns sítios de ‘Teia Informática’ ($\leftarrow(P,I)$ — “Web sites”) na “Internet” que disponibilizam essa informação como por exemplo o Instituto de Meteorologia de Portugal. Mas essa informação obtida do tempo climático é pouco precisa em termos de espaço geográfico e de tempo cronológico, porque se refere a uma área de alguns quilómetros-quadrados e a períodos de tempo de algumas horas. Uma outra opção possível é a recolha de dados a partir de uma pequena estação meteorológica que esteja perto do SEH, a qual permite obter informação do tempo climático com maior precisão.

O conhecimento do clima de um local implica que exista um registo histórico do tempo climático durante um período superior a cinco anos, e esse conhecimento permite melhorar as previsões de tempo climático no curto prazo.

O dimensionamento dos dispositivos produtores de energia eléctrica e dos dispositivos armazenadores de energia depende da disponibilidade dos recursos energéticos e da procura de electricidade do sistema consumidor eléctrico externo (SCEE), por consequência é preciso prever o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo (SCEE) com a menor incerteza possível. A previsão do consumo eléctrico externo pode ser feita com base no registo histórico de perfis de consumo eléctrico ao longo de cada dia durante um ano.

1.3 - Definição e explicação de conceitos relacionados com energia

O conceito científico de energia pode ser definido como a capacidade de produzir trabalho físico, que se subdivide no modo estático como a capacidade para movimentar alguma coisa e no modo dinâmico como a realização de algum tipo de movimento em alguma coisa.

A energia pode manifestar-se de várias maneiras na realidade, as quais se denominam por formas-de-energia. Algumas formas-de-energia são:

- energia solar;
- energia eólica;
- energia hídrica;
- energia eléctrica.

A designação e o tipo da forma-de-energia depende principalmente do objecto físico associado à forma-de-energia, à existência de movimento, ao tipo de força e ao campo de forças predominante sobre o objecto físico.

A energia hídrica potencial é uma forma-de-energia que também se pode designar por energia potencial gravítica da água. Nesta forma-de-energia, o objecto físico é a água, o campo de forças é o campo gravítico terrestre, a força exercida sobre a massa física da água é a força gravítica, e se a água estiver armazenada num reservatório acima do solo então não há movimento da água relativamente ao centro da Terra por acção da gravidade.

O processo transformativo de energia é a sucessão de formas-de-energia que se obtêm na transformação da energia através de vários dispositivos e meios. Por exemplo o processo transformativo energético hidro-eléctrico tem a energia hídrica potencial como forma-de-energia inicial, que é transformada em energia hídrica cinética quando a água se move por um tubo a partir de um reservatório. Esta última forma-de-energia é transformada em energia mecânica da turbina hídrica, a qual é transferida para o rotor do gerador eléctrico. No gerador eléctrico, a energia mecânica transforma-se em energia magnética, e esta transforma-se em energia eléctrica que é a forma-de-energia final.

O sistema energético híbrido (SEH) é um sistema em que se combina duas ou mais formas-de-energia iniciais para obter uma determinada forma-de-energia que seja utilizável com a mesma finalidade.

Alguns exemplos de SEH são:

- 1) veículo híbrido;

Num veículo híbrido, utiliza-se a energia química do combustível e a energia ‘electrolítica’ da bateria como formas-de-energia iniciais para obter energia mecânica das rodas do veículo e assim permitir a deslocação do veículo.

2) SEH do tipo eólico-solar-fotovoltaico.

Neste SEH, utiliza-se a energia eólica e a energia solar como formas-de-energia iniciais para obter energia eléctrica utilizada nos dispositivos consumidores eléctricos. A conversão de energia solar em energia eléctrica é feita por um processo fotovoltaico que também pode ser designado por processo ‘foto-eléctrico’.

1.4 - Explicação de conceitos relativos à gestão

A gestão de um sistema consiste na determinação do grau de utilização de recursos, dispositivos e meios, atendendo a certas condições, para satisfazer os objectivos do melhor modo possível e permitir a sustentabilidade do sistema.

A gestão de um sistema energético híbrido (SEH) pode ser dividida em várias partes que são:

- a gestão operacional;
- a gestão de manutenção;
- a gestão económico-financeira.

A gestão operacional de um sistema energético híbrido (SEH) fornecedor de electricidade consiste em determinar o grau de utilização, em termos de quantidade e de períodos de tempo, para os dispositivos, os fluxos de energia e as quantidades de energia armazenadas no SEH durante o seu funcionamento, atendendo à disponibilidade dos recursos energéticos, à capacidade de produção eléctrica dos dispositivos produtores de energia eléctrica, e à capacidade de armazenamento energético dos dispositivos armazenadores de energia, para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo (SCEE).

A gestão de manutenção de um SEH fornecedor de electricidade consiste em determinar o grau de utilização, em termos de quantidade e de períodos de tempo, para os recursos materiais, os recursos humanos, os dispositivos novos de substituição, e outros recursos, tendo em conta os estados de conservação dos componentes (dispositivos produtores de energia eléctrica, dispositivos armazenadores de energia, e outros dispositivos) do SEH durante o seu período de existência útil, para minimizar as interrupções no fornecimento de energia eléctrica ao sistema consumidor eléctrico externo (SCEE) e prolongar a existência útil do SEH.

A gestão económico-financeira de um SEH fornecedor de electricidade permite determinar como se utilizam os valores monetários atribuídos aos recursos, dispositivos, meios e produto final que é a energia eléctrica para as várias fases do SEH das quais se destacam o projecto, a implementação, o funcionamento e a manutenção, considerando certas restrições de tempo cronológico para acções realizadas no SEH, de limites de endividamento, e outras restrições, com os objectivos de minimizar os custos e maximizar os proveitos obtendo assim o melhor rendimento económico, e de ter uma oferta de energia eléctrica fornecida pelo SEH que satisfaça a procura de energia eléctrica requerida pelo sistema consumidor eléctrico externo (SCEE).

A sustentabilidade baseia-se nos seguintes princípios de gestão de recursos cujo ciclo de utilização se representa na figura 1.1:

- a exploração dos recursos renováveis não deve exceder ritmos de regeneração;
- as emissões de resíduos poluentes devem ser reduzidas ao mínimo e não devem exceder a capacidade de absorção e de regeneração dos ecossistemas;
- os recursos não-renováveis devem ser explorados de um modo quase sustentável limitando o seu ritmo de esgotamento ao ritmo de criação de recursos substituintes renováveis;
- sempre que possível deverá ser feita a re-utilização e a reciclagem dos resíduos resultantes da utilização de recursos não-renováveis;

- os resíduos de algumas actividades económicas podem em muitos casos servir como matérias-primas de outras actividades.

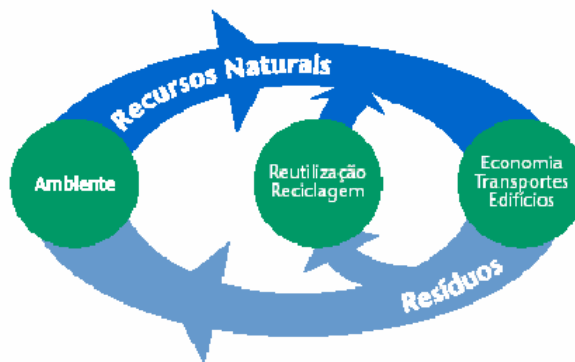


Figura 1.1: Utilização dos recursos naturais e resíduos «[22]»

A actividade económica, o meio-ambiente e o bem-estar global da sociedade formam o tripé básico no qual se apoia a ideia de desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento sustentável só pode ser alcançado se esses três eixos evoluírem de forma harmoniosa.

Assim, o conceito de desenvolvimento sustentável pode ser representado pela figura 1.2 em que os três círculos representam as dimensões ambiental, económica e social associadas, sendo de salientar os seguintes aspectos:

- os processos económicos, sociais e ambientais estão fortemente interligados;
- o desenvolvimento sustentável vai para além da conservação ambiental;
- as actividades desenvolvidas no presente e no médio prazo devem garantir a satisfação global das necessidades das gerações futuras;
- o desenvolvimento sustentável apela às mudanças estruturais a longo prazo na economia e no sistema social, com o objectivo de reduzir o consumo dos recursos naturais mantendo o potencial económico e a coesão social.

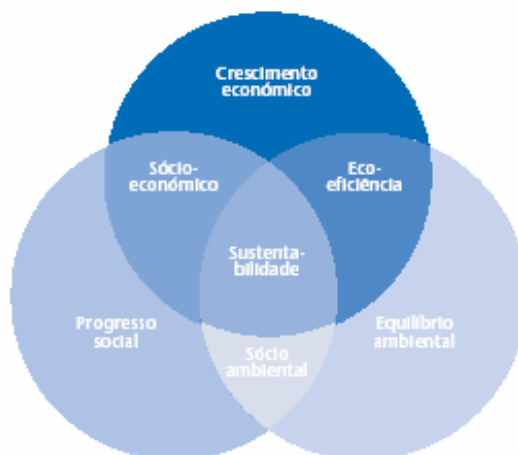


Figura 1.2: Dimensões ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável «[22]»

1.5 - Motivação e objectivos para a realização do projecto de dissertação

O sistema energético, existente no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), tem as seguintes formas-de-energia principais:

- de entrada: a energia solar e a energia eólica;
- de armazenamento: a energia ‘electrolítica’;
- de saída: a energia eléctrica.

Actualmente, o sistema energético existente é constituído por componentes que formam dois sistemas energéticos simples os quais estão separados mas partilham o mesmo espaço físico. O sistema energético do aproveitamento de energia eólica funciona em modo isolado da rede eléctrica, enquanto que o sistema energético do aproveitamento de energia solar funciona em modo ligado à rede eléctrica. Esses dois sistemas energéticos simples podem ser juntados para formar um sistema energético híbrido (SEH) que produza energia eléctrica para uma mesma finalidade a partir de duas energias renováveis de entrada no sistema.

O sistema consumidor eléctrico externo (SCEE) pode ser definido em função da área de localização do conjunto de dispositivos consumidores eléctricos, obtendo-se as seguintes categorias:

- SCEE de área local → no caso particular da FEUP, é constituído por um projector de luz que transforma a energia eléctrica proveniente do SEH para energia ‘iluminante’ usada na iluminação artificial do espaço onde está o gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE);
- SCEE de área alargada → no caso particular da FEUP, é constituído pelos dispositivos consumidores ligados à rede eléctrica.

A energia solar e a energia eólica, que são as formas-de-energia iniciais do SEH considerado com base nos componentes existentes no edifício J da FEUP, têm as seguintes características:

- variabilidade em função do tempo cronológico → implica saber quando estão disponíveis as formas-de-energia iniciais para serem convertidas em energia eléctrica, e qual é a quantidade de energia disponível nas formas-de-energia iniciais para ser convertida em energia eléctrica;
- ‘não-armazenabilidade’ → por causa dessas formas-de-energia não serem armazenáveis, é necessário saber quanta energia se deve armazenar na forma de energia ‘electrolítica’ para satisfazer o consumo eléctrico externo em períodos de insuficiência ou inexistência das formas-de-energia iniciais.

O sistema armazenador de energia do SEH considerado é constituído por baterias electroquímicas. Na fase de carregamento, as baterias electroquímicas transformam energia eléctrica para energia ‘electrolítica’, e na fase de descarregamento, transformam energia ‘electrolítica’ para energia eléctrica, sendo estas transformações energéticas feitas por um processo electroquímico. Algumas baterias electroquímicas são compostas por placas de chumbo e por ácido corrosivo do electrólito, e no fim da existência útil destas baterias, se os seus componentes não forem devidamente reciclados e forem abandonados no meio-ambiente, então provocam malefícios graves aos seres-vivos.

Por esse motivo, se pretende estudar formas-de-energia armazenáveis que não sejam poluentes e sejam alternativas viáveis em relação à energia ‘electrolítica’, tais como:

- a energia hídrica, que se pode também designar por energia gravítica da água;
- a energia ‘hidrogénica’, que pode ser designada por energia química do gás de hidrogénio.

A utilização da energia ‘hidrogénica’ é perigosa porque o hidrogénio é muito inflamável, e por consequência requer equipamento com desenvolvimento tecnológico que permita uma utilização segura do hidrogénio.

Na gestão do SEH com uma forma-de-energia alternativa para armazenamento energético, alguns dos problemas consistem em responder às seguintes perguntas:

- 1) Qual é o rendimento energético no armazenamento de energia para uma determinada forma-de-energia armazenável?
- 2) Qual é o melhor dimensionamento dos componentes do SEH para um determinado consumo eléctrico do SCEE?
- 3) Como se controla os dispositivos de um sistema armazenador de energia?
- 4) Qual é a possibilidade de conjugar o uso de uma forma-de-energia armazenável com outra no armazenamento energético para facilitar o controlo do sistema armazenador de energia?

Os objectivos principais do projecto de dissertação são:

- a obtenção de modelos dos componentes do sistema energético existente;

- a modelização do SEH da primeira expansão com armazenamento de energia hídrica, e do SEH da segunda expansão com armazenamento de energia ‘hidrogénica’;
- a realização de algoritmos para a gestão e o controlo de alguns SEH’s;
- a elaboração do programa informático para a gestão e o controlo de alguns SEH’s;
- a simulação e a análise económica do SEH existente e das duas previsíveis expansões desse SEH;
- a concepção e a implementação de uma pequena estação meteorológica para a recolha de dados do tempo climático.

1.6 - Resumo dos capítulos posteriores

No capítulo 2, é abordado o estado da arte na gestão de sistemas energéticos híbridos, a partir de ficheiros de documentos pesquisados na “Internet” para os quais se efectuou comentários de análise crítica.

No capítulo 3, foi feita a modelização do sistema energético híbrido (SEH) baseado nos componentes existentes no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Esse SEH foi representado por dois esquemas, em que um esquema representa as ligações entre os componentes do equipamento no SEH, e o outro esquema representa as formas-de-energia principais no SEH. Também foi feita a descrição das características do equipamento usado para o SEH que é constituído por dispositivos localizados fora e dentro do compartimento no topo do edifício J da FEUP.

No capítulo 4, foi efectuada a modelização dos componentes para duas expansões do SEH existente. Na primeira expansão do SEH, apresenta-se os esquemas das formas-de-energia principais para duas configurações de SEH, em que uma configuração de SEH só tem armazenamento de energia hídrica, e a outra configuração tem mais o armazenamento de energia ‘electrolítica’. Na segunda expansão do SEH, também se considera duas configurações de SEH, em que uma configuração de SEH só tem armazenamento de energia ‘hidrogénica’, e a outra configuração tem mais o armazenamento de energia ‘electrolítica’ e de energia hídrica.

No capítulo 5, realizou-se algoritmos para a gestão e o controlo de alguns SEH’s. Foi feito o estudo da gestão operacional diária através da simulação em folhas-de-cálculo do programa “Excel”, para os seguintes SEH’s:

- SEH só com armazenamento de energia ‘electrolítica’;
- SEH só com armazenamento de energia hídrica;
- SEH com armazenamento de energia ‘electrolítica’ e de energia hídrica.

No capítulo 6, apresenta-se a realização de um programa informático para simular a gestão e o controlo de um SEH só com armazenamento de energia ‘electrolítica’. Na implementação da versão 1.0 do programa, usou-se um SEH com componentes arbitrários.

No capítulo 7, foi feita a validação dos algoritmos por adaptação do programa de simulação sobre gestão e controlo, o qual foi aplicado a alguns SEH’s. Na versão 1.5 do programa, manteve-se a estrutura de componentes do sistema energético global relativamente à versão 1.0 do programa, mas utilizou-se um SEH com componentes existentes no edifício J da FEUP. Na versão 2.0 do programa, substituiu-se o sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ pelo sistema armazenador de energia hídrica em relação à versão 1.5, enquanto que na versão 2.5 do programa, acrescentou-se o sistema armazenador de energia hídrica relativamente à versão 1.5.

No capítulo 8, efectuou-se o estudo de alguns SEH’s usando o programa “HOMER”. Nesse estudo, realizou-se a simulação e a análise de sensibilidade de alguns parâmetros para sistemas energéticos relacionados com :

- o SEH constituído por componentes existentes no edifício J da FEUP;
- o SEH da primeira expansão com aproveitamento de energia hídrica.

No capítulo 9, expõe-se as conclusões gerais do trabalho de dissertação e as perspectivas de continuação em trabalhos futuros.

Capítulo 2 - Estado da arte na gestão de sistemas energéticos híbridos

2.1 - Descrição do modo de pesquisa

Para a revisão literária sobre o estado da arte na gestão de sistemas energéticos híbridos, foram feitas várias pesquisas na “Internet” utilizando o motor-de-busca “Google”. Essas pesquisas foram efectuadas em quatro idiomas, e estão relacionadas com as seguintes palavras:

- no idioma português:
‘gestão’, ‘energia’, e ‘sistema energético híbrido’;
- no idioma inglês:
“management”, “energy”, “hybrid energetic system”, e “hybrid power system”;
- no idioma francês:
“gestion”, “énergie”, e “système énergétique hybride”;
- no idioma espanhol:
“gestión”, “energía”, e “sistema energético híbrido”.

Também foram feitas pesquisas de artigos científicos e outras publicações no sítio de ‘Teia Informática’ (“Web site”) da organização “IEEE” (→ “Institut of Electrical and Electronics Engineers” —(I,P)→ ‘Instituto de Engenheiros Electrotécnicos e Electrónicos’ dos Estados Unidos da América) na “Internet”, que estão relacionadas com as seguintes palavras no idioma inglês:

- “management” (—(I,P)→ gestão),
- “energy” (—(I,P)→ energia),
- “hybrid power system” (—(I,P)→ sistema energético híbrido),
- “wind” (—(I,P)→ vento, eólico),
- “solar” (—(I,P)→ solar) e
- “photovoltaic” (—(I,P)→ fotovoltaico).

Após essas pesquisas, seleccionou-se alguns ficheiros que têm mais interesse para o trabalho de dissertação.

2.2 - Comentários da análise crítica efectuada aos ficheiros principais

2.2.1 - Documento sobre ‘Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico, como Alternativa na Geração Descentralizada de Electricidade para Áreas Rurais Isoladas’

No trabalho de Luiz António Rossi «[1]», é feita uma descrição de uma metodologia apropriada e original para serem realizados estudos, através da simulação em computador, que visam a geração descentralizada de energia eléctrica, usando um sistema energético híbrido (SEH) do tipo eólico-solar-fotovoltaico, para áreas rurais isoladas no Brasil.

As características da procura de electricidade, no sector rural de países em desenvolvimento, dificultam e praticamente inviabilizam a expansão da rede de distribuição para fornecimento de electricidade. Estas características são:

- a baixa densidade populacional;
- a capacidade aquisitiva reduzida da população;
- os elevados investimentos em rede de distribuição;
- o baixo consumo de energia eléctrica.

Os sistemas descentralizados de geração eléctrica, e a sua inserção no processo de electrificação rural, podem superar essas dificuldades.

O modelo de simulação do SEH (→ sistema energético híbrido) considera a variabilidade e a disponibilidade dos recursos energéticos numa base horária, o que permite ter uma aproximação bastante aceitável à realidade.

O SEH é definido como um sistema que usa uma combinação de fontes energéticas convencionais (por exemplo, gasóleo) e renováveis (por exemplo, energia solar) em que o aproveitamento dessas fontes é dimensionado para satisfazer os requisitos de energia eléctrica.

Um SEH pode ser composto pelos seguintes componentes:

- para a produção de electricidade:
 - os painéis fotovoltaicos, com as suas estruturas e controladores próprios;
 - os aerogeradores com as suas torres de montagem, os seus reguladores, o centro de carga e o anemómetro;
 - o grupo de motor a gasóleo com gerador eléctrico;
- para o armazenamento de energia:
 - o conjunto de baterias;
- para funções diversas:
 - os conversores de CC (→ corrente contínua) para CA (→ corrente alternada);
 - o transformador;
 - a rede eléctrica de distribuição.

O SEH, em análise de Luiz António Rossi «[1]», é do tipo eólico-solar-fotovoltaico, porque faz apenas o aproveitamento de dois recursos energéticos, que são:

- o recurso de energia eólica;
- o recurso de energia solar, a qual é convertida em energia eléctrica por um processo fotovoltaico.

Este SEH é constituído por:

- painéis fotovoltaicos;
- aerogeradores;
- baterias electroquímicas;
- sistema de condicionamento de potência para CA;
- outros componentes.

A metodologia consiste em simular o SEH numa base horária durante um certo período de tempo, tanto para os dados, como para os resultados.

Os dados são os valores médios, por hora, de:

- radiação solar (global);
- velocidade do vento, estimados a partir do valor médio mensal;
- consumo eléctrico.

Os resultados são os valores médios, por hora, de:

- energia eléctrica produzida total e-ou por cada aproveitamento energético;
- energia armazenada;
- outros resultados.

No programa de simulação, é possível introduzir dados gerais que caracterizam os componentes do SEH.

Através da observação e análise dos resultados da simulação feita ao funcionamento do SEH, é possível a alteração de parâmetros que pode conduzir a um redimensionamento do sistema. Assim, a metodologia permite ao utilizador tomar decisões e fazer avaliações rápidas e de modo iterativo.

O SEH analisado por Luiz António Rossi «[1]» é do mesmo tipo que o SEH existente no edifício J da FEUP (→ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), porque ambos os sistemas têm as mesmas formas iniciais de energia, que são a energia solar e a energia eólica, e têm o armazenamento de energia em baterias electroquímicas.

O programa apresentado por Luiz António Rossi «[1]» tem uma sequência de operações para o utilizador, que é a seguinte:

- 1) selecção e configuração do sistema de geração de electricidade;
- 2) introdução de dados relativos à fonte energética solar, à fonte energética eólica e ao consumo eléctrico;
- 3) realização da simulação;
- 4) obtenção dos resultados.

Esse programa é utilizado principalmente para uma fase de projecto do SEH, no qual se pretende, através de simulação, determinar o dimensionamento correcto do SEH.

O programa, a desenvolver no trabalho de dissertação, tem algumas semelhanças com o programa de Luiz António Rossi «[1]», mas pretende-se conceber o programa com a possibilidade de aplicação à gestão operacional do SEH durante a fase de funcionamento.

2.2.2 - Documento sobre ‘Situação da Geração Eléctrica através de Sistemas Híbridos no Estado do Pará e Perspectivas frente à Universalização da Energia Eléctrica’

O trabalho realizado pelo Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) da Universidade Federal do Pará (UFPA) «[2]», apresenta uma análise dos sistemas energéticos híbridos de geração de electricidade, os quais estão instalados em localidades isoladas ou com fraca ligação à rede eléctrica, no estado regional do Pará no Brasil.

Os aspectos analisados no trabalho são:

- o perfil das localidades abastecidas;
- as tecnologias de conversão energética nas diversas configurações de SEH;
- os impactos sociais, económicos e ambientais proporcionados por SEH's;
- a gestão e a sustentabilidade dos SEH's;
- as perspectivas relacionadas com o fornecimento global da energia eléctrica no Brasil.

As fontes de energia para a geração de electricidade nos SEH's analisados são:

- energia solar;
- energia eólica;
- energia química do gasóleo.

Outras fontes de energia renováveis, que estão disponíveis e que podiam ser usadas nos SEH's, são:

- energia hídrica;
- energia química da biomassa (lenha, biogás e qualquer substância de origem biológica).

O não-abastecimento de electricidade das áreas rurais isoladas no estado regional do Pará deve-se às características intrínsecas do próprio meio rural, tais como:

- pequenas vilas dispersas e isoladas;
- baixa densidade demográfica;
- baixo rendimento económico;
- infra-estrutura precária ou inexistente da rede eléctrica;
- elevada distância em relação aos grandes centros;
- locais remotos e de difícil acesso;
- desinteresse da administração pública;
- outras características.

Essas características e o elevado investimento com reduzido retorno inviabilizam a tradicional electrificação por extensão da rede eléctrica.

Das possíveis alternativas de geração eléctrica que existem para o fornecimento de electricidade nessas áreas, destacam-se duas:

- geração eléctrica proveniente do gasóleo;
- geração eléctrica proveniente de formas iniciais de energia renováveis.

As instituições nacionais do Brasil, como o «Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas» (GEDAE), o «Centro de Pesquisas de Energia Eléctrica» (CEPEL), a empresa «Petróleo Brasileiro, S.A.» (PETROBRAS) e as «Centrais Eléctricas do Pará, S.A.» (CELPA), e instituições internacionais, como o «Departamento de Energia» dos Estados Unidos (“DOE”) e o «Laboratório de Energias Renováveis» dos Estados Unidos (“NREL”), têm despendido esforços conjuntos na inserção de sistemas energéticos híbridos em localidades isoladas no Estado do Pará. Desde 1996, foram implantados quatro SEH’s, nas seguintes localidades:

- Joanes;
- Praia Grande;
- Tamaruteua;
- São Tomé.

Na actualidade, alguns desses SEH’s estão totalmente ou parcialmente inactivos, por causa da manutenção inadequada e de outros factores referentes à operação e gestão desses SEH’s.

O tipo de cada SEH analisado pelo Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) «[2]» é:

- para Joanes, do tipo eólico-solar-fotovoltaico com salvaguarda de abastecimento de energia em bateria electroquímica e-ou em rede eléctrica exterior;
- para Praia Grande, do tipo eólico-gasóleo com salvaguarda de abastecimento de energia em bateria electroquímica e em depósito de gasóleo;
- para Tamaruteua, do tipo eólico-solar-fotovoltaico-gasóleo com salvaguarda de abastecimento de energia em bateria electroquímica e em depósito de gasóleo;
- para São Tomé, do tipo eólico-solar-fotovoltaico-gasóleo com salvaguarda de abastecimento de energia em bateria electroquímica e em depósito de gasóleo.

A operação do sistema, nos quatro SEH’s, não é automática.

Os impactos sócio-económicos são positivos, e os impactos ambientais são mais positivos do que negativos.

Houve má gestão nos SEH’s das comunidades de Joanes, Praia Grande e Tamaruteua, os quais estão inoperantes, e os SEH’s de Praia Grande e Tamaruteua tornaram-se insustentáveis por várias causas.

O SEH de São Tomé tem boa gestão e está operacional.

Uma alternativa, que se apresenta atractiva para a electrificação de áreas rurais isoladas em vez da expansão da rede eléctrica, é aplicação dos SEH’s, pelos seguintes motivos:

- um SEH proporciona uma maneira importante do uso dos recursos de energias renováveis, em contrapartida aos recursos energéticos não-renováveis fósseis;
- um SEH aproveita os recursos locais existentes;
- um SEH pode ser dimensionado de acordo com a necessidade real de cada comunidade;
- o fornecimento de electricidade pode ser descentralizado e autónomo.

Na experiência adquirida dos SEH’s apresentados, o principal problema não se restringe só em encontrar a melhor alternativa para a geração de electricidade, mas também em implementar o melhor modelo de gestão, que ao mesmo tempo garanta a sustentabilidade dos SEH’s e a integração social e económica das comunidades beneficiadas.

O SEH existente no edifício J da FEUP é de um tipo quase igual ao dos SEH’s de Joanes, de Tamaruteua e de São Tomé, excepto na salvaguarda de abastecimento de energia por meio de rede eléctrica exterior ou por meio de depósito de gasóleo.

A má gestão nos SEH's de Praia Grande e Tamaruteua levou à falência operacional desses SEH's, pelos seguintes motivos:

- na gestão económico-financeira:
 - escassez de recursos financeiros captados para manutenção, resultante da falta de uma tarifação adequada;
- na gestão de manutenção:
 - falta de zelo pelos equipamentos dos sistemas;
 - aplicação de manutenção inadequada por pessoas não-especializadas;
- na gestão administrativa:
 - quase nenhuma participação efectiva das prefeituras municipais.

No SEH de São Tomé, houve boa gestão económico-financeira, porque se utilizou um novo modelo de tarifação baseado em pré-pagamento.

Do trabalho feito pelo Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) «[2]», pode-se constatar que os vários tipos de gestão de um SEH são importantes, para que o SEH funcione bem durante muito tempo, tornando-se num sistema sustentável.

2.2.3 - Documento sobre 'Electrificação de Edificações Rurais Isoladas Utilizando Energia Solar por Processo Fotovoltaico'

O trabalho de José Luiz Cunha «[3]» apresenta os desafios para a electrificação de residências rurais isoladas, usando a energia solar convertida por um processo fotovoltaico que também se pode designar processo 'foto-eléctrico'.

É feito um enquadramento histórico sobre a necessidade de mudança do paradigma energético das fontes de energia não-renovável (por exemplo, petróleo) para as fontes de energia renovável (por exemplo, energia solar), no qual se destaca a crise energética do ano 1973.

Existe uma grande disponibilidade do recurso energético solar no Brasil que pode ser aproveitado para obtenção de energia eléctrica.

As dificuldades de electrificação de zonas rurais no Brasil impedem o desenvolvimento económico e a satisfação de necessidades básicas domésticas ou comunitárias.

É feita a descrição dos componentes dos sistemas energéticos fotovoltaicos (SEFV's), sendo esses componentes:

- gerador fotovoltaico, que também se pode designar por gerador 'solar-foto-eléctrico';
- acumulador de energia, que também se pode designar por bateria electroquímica;
- controlador de carga (eléctrica das baterias);
- inversor, que também se pode designar por conversor de CC para CA;
- conversor de CC para CC, que permite diminuir o nível de tensão eléctrica.

A classificação dos SEFV's é feita em função da aplicação de uso final, da avaliação económica, do nível de confiabilidade e das características específicas do projecto.

Algumas categorias dos SEFV's são:

- relativamente à ligação à rede eléctrica:
 - SEFV isolado → é um sistema autónomo que está independente da rede eléctrica convencional, e que utiliza algum meio de armazenamento de energia;
 - SEFV ligado à rede → é um sistema que está ligado à rede eléctrica convencional;
- relativamente às fontes de energia:
 - SEFV híbrido → é um sistema que tem a fonte energética solar juntamente com outras fontes energéticas;
 - SEFV simples → é um sistema que tem unicamente a fonte de energia solar convertida por um processo fotovoltaico;
- relativamente à aplicação de uso final:
 - SEFV de bombeamento de água.

O SEFV de bombeamento de água é uma variante do sistema isolado na qual se pode dispensar o armazenamento de energia em baterias electroquímicas, porque a água é armazenada em reservatórios através de bombeamento.

São apresentadas quatro configurações de SEFV de bombeamento de água:

- a electrobomba de água está submersa na água;
- o motor eléctrico está à superfície e a bomba-de-água está submersa;
- a electrobomba de água está flutuante na água;
- a electrobomba de água está à superfície fora da água.

O controlador de carga, num sistema isolado, é o dispositivo responsável pela gestão do fluxo de energia eléctrica do sistema.

Os parâmetros básicos para o dimensionamento correcto de um SEFV rural são:

- quantidade de energia eléctrica a ser produzida;
- quantidade de energia eléctrica a ser consumida;
- autonomia do sistema em períodos prolongados sem insolação.

O parâmetro da autonomia permite dimensionar o conjunto de baterias, e os restantes parâmetros definem o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos e dos outros dispositivos.

Para garantir a sustentabilidade dos projectos de SEFV para residências rurais isoladas, é necessário realizar as seguintes acções:

- o diagnóstico e a averiguação do perfil sócio-económico-energético da comunidade;
- a capacitação e a formação dos utilizadores;
- o dimensionamento correcto do sistema;
- a instalação dentro de requisitos e normas técnicas;
- a monitorização e a gestão do sistema;
- a manutenção e a assistência técnica.

Para aqueles projectos, os custos de produção de electricidade são geralmente comparados com os custos relacionados com a expansão da rede eléctrica convencional.

A avaliação do custo de electricidade para o SEFV tem em conta os investimentos necessários na aquisição de equipamento e na sua instalação, e também os gastos na manutenção do sistema.

No trabalho de José Luiz Cunha «[3]», a fonte de energia principal é a energia solar, a qual é uma das fontes de energia do SEH existente no edifício J da FEUP, e que é convertida em energia eléctrica por um processo fotovoltaico.

O SEFV de bombeamento de água transforma energia solar em energia eléctrica e esta energia eléctrica em energia hídrica, mas não está explicitado no trabalho de José Luiz Cunha «[3]» se a energia hídrica é transformada novamente em energia eléctrica ou se se usa a água dessa energia hídrica para outra finalidade.

Num sistema energético isolado, o controlador de carga é importante para a gestão operacional, porque é o dispositivo que desempenha a função de gerir o fluxo de energia eléctrica entre as baterias electroquímicas e os outros componentes do sistema.

2.2.4 - Documento sobre ‘Integração de Energias Renováveis na Produção Descentralizada de Electricidade Utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG)’

A dissertação de Cláudio Domingos Monteiro «[4]» tem por objectivo demonstrar a eficiência de novas tecnologias de análise baseadas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) para a elaboração e o acompanhamento de planos de integração de Energias Renováveis (ER) no sistema eléctrico.

A metodologia desenvolvida permite responder a algumas perguntas, tais como:

- 1) Qual é o melhor sistema de Energias Renováveis (ER) para cada local?
- 2) Quais são os melhores locais para uma dada tecnologia de Energias Renováveis (ER)?
- 3) Qual é o custo da electricidade produzida por cada sistema energético?
- 4) Qual é o mercado para cada tecnologia?
- 5) Qual é o melhor plano de electrificação para uma determinada região?

O campo de aplicação da metodologia é constituído por:

- parques eólicos;
- sistemas isolados de média dimensão;
- sistemas isolados de pequena dimensão;
- expansão da rede de distribuição.

Os sistemas isolados são usados em zonas rurais ainda não-electrificadas pela expansão da rede eléctrica.

A metodologia consiste na utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a elaboração de planos de integração de Energias Renováveis (ER) no sistema eléctrico, permitindo uma análise global do problema.

A metodologia implementada no “SOLAR-GIS” tem os seguintes passos de resolução:

- 1) introdução de uma elevada quantidade de dados uniformizados com as características de uma região numa base-de-dados geográfica;
- 2) mapeamento dos recursos energéticos da região, tais como recurso energético solar e recurso energético eólico;
- 3) cruzamento da informação, que se pode também designar por filtragem geográfica, segundo regras definidas por limites geográficos, técnicos, sociais e administrativos, o que permite delimitar as áreas da região para a aplicação das tecnologias;
- 4) estudo dos custos para as várias soluções de electrificação, tendo por base o Custo Nivelado de Electricidade (CNE) que representa o custo da electricidade produzida pelo sistema produtor eléctrico, e cedida ao conjunto de dispositivos consumidores eléctricos (que se designa ambigualmente por «carga»), tendo em conta os diversos custos ao longo do tempo de existência (que se designa ambigualmente por «vida») do equipamento;
- 5) comparação entre os diversos sistemas, localizando os melhores locais, delimitando áreas de elevado potencial para cada sistema, e efectuando estudos de viabilidade para as diversas tecnologias.

As três partes principais do problema de integração de Energias Renováveis (ER) são:

- os recursos de energias renováveis;
- os consumos de electricidade;
- as tecnologias de transformação energética.

O problema só se pode resolver eficientemente quando se trata as três partes principais sobre uma mesma plataforma de conhecimento geográfico.

A metodologia de avaliação da viabilidade de sistemas energéticos isolados tem os seguintes objectivos:

- criar mapas de Custo Nivelado da Electricidade (CNE) para os diversos sistemas;

- definir mapas de competitividade entre as várias soluções estimando a distribuição geográfica do possível mercado dos sistemas em estudo.

Os sistemas estudados são:

- pequenos sistemas energéticos fotovoltaicos, que alimentam os dispositivos consumidores eléctricos de casas isoladas, e que usam baterias electroquímicas para armazenamento de energia;
- pequenos sistemas energéticos eólicos, que alimentam os dispositivos consumidores eléctricos de casas isoladas, e que usam baterias electroquímicas para armazenamento de energia;
- pequenos geradores eléctricos de gasóleo (“Diesel”) ou de gasolina, que alimentam os dispositivos consumidores eléctricos de casas isoladas;
- sistemas energéticos eólicos e de gasóleo, que alimentam os dispositivos consumidores eléctricos de pequenos aglomerados populacionais de agentes consumidores;
- sistemas energéticos de gasóleo, que alimentam os dispositivos consumidores eléctricos de pequenos aglomerados populacionais de agentes consumidores.

O “SOLAR-GIS” pretende ser um utensílio de ajuda para saber quais os sistemas energéticos isolados que se podem usar numa vasta região, apresentando os resultados através de mapas e tabelas em que:

- são encontradas as zonas de viabilidade para cada tecnologia;
- são avaliados os custos de produção de electricidade para cada tecnologia;
- é elaborado um plano energético para a electrificação rural;
- é avaliado e localizado o conjunto de possíveis compradores (que se designa ambigualmente por «mercado») para cada tecnologia.

A metodologia de Cláudio Domingos Monteiro «[4]» é baseada em SIG’s (→ Sistemas de Informação Geográfica), e tem aplicação a uma escala elevada de espaço geográfico, em que a melhor resolução é para valores da ordem de 250 [m]. Para um SEH isolado, essa metodologia é aplicada apenas na fase de projecto.

O mapeamento dos recursos energéticos solar e eólico tem interesse para a caracterização desses recursos no SEH existente no edifício J da FEUP, e também tem interesse o cálculo do CNE (→ Custo Nivelado da Electricidade) para comparar entre esse SEH com armazenamento em energia ‘electrolítica’ e esse SEH com outras soluções de armazenamento de energia.

2.2.5 - Documento sobre ‘Estratégias de Gestão de Energia para Optimização do Armazenamento de Energia em Sistema Híbrido de Energia Eólica’

No documento de “C. Abbey” e “G. Joos” «[5]», propõe-se um sistema de gestão de energia baseado em lógica imprecisa ($\leftarrow(P,I)\rightarrow$ “fuzzy logic”), de modo a otimizar o uso do armazenamento de energia.

A energia eólica é uma fonte de energia muito variável ao longo do tempo (cronológico) e difícil de ser prevista, o que implica que haja impactos negativos na electricidade produzida por aerogeradores, a qual é incerta no tempo e tem características eléctricas (tensão, frequência, potência) instáveis e de difícil controlo. Para resolver ou limitar esses impactos negativos, utiliza-se dispositivos de electrónica de potência nos aerogeradores.

Uma potência eléctrica flutuante à saída de um parque eólico resulta em vários problemas para o sistema de energia eléctrica, tais como:

- tremulação ($\leftarrow(P,I)\rightarrow$ “flicker”) de tensão;
- equilíbrio eléctrico entre produção e consumo;
- instabilidades, especialmente nos casos de sistemas eléctricos isolados ou remotos.

O fornecimento de electricidade a partir de uma fonte alternativa de energia armazenável oferece uma potencial solução para contrabalançar a variabilidade e a imprevisibilidade do vento.

Os sistemas de armazenamento de energia (SAE's) podem ser usados para efectivamente balancear as mudanças indesejáveis nas características da electricidade proveniente do aproveitamento energético eólico.

Um vasto leque de opções, para o armazenamento de energia, está actualmente disponível, em que cada opção ocupa uma área particular de aplicação. Na selecção do tipo de dispositivo armazenador de energia (DAE) para uma dada necessidade, é preciso considerar o cálculo de potência e o cálculo de quantidade de energia. Enquanto que o tipo de DAE influenciará a estrutura de interface, por outro lado, as limitações do sistema implicam a necessidade de um sistema de gestão estruturada, para coordenar o fluxo de energia para o DAE e a partir do DAE.

As tecnologias mais comuns de armazenamento de energia podem ser sumariadas em termos de DAE's para curto prazo e para longo prazo.

Alguns dos DAE's ou SAE's para curto prazo são:

- supercondensadores → estes DAE's estão baseados num sistema electroquímico, e são dispositivos baseados em tensão que estão interligados tipicamente usando um 'limitador' ($\leftarrow(P,I)$ — “chopper”) CC-CC. Os supercondensadores oferecem uma densidade de quantidade de energia mais alta do que as baterias e isto pode ser melhor apropriado para algumas aplicações.
- sistema de armazenamento de energia magnética de supercondução → a energia é armazenada numa grande bobina na qual circula uma corrente eléctrica do tipo CC. Este sistema é bem adequado para a troca rápida de grandes quantidades de electricidade, enquanto que a capacidade de armazenamento de longo prazo é limitada. O sistema é caro, e requer uma elevada quantidade de equipamento extra.

Alguns dos DAE's ou SAE's para longo prazo são:

- baterias (electroquímicas) → são talvez as mais versáteis de qualquer um dos DAE's, porque oferecem características de armazenamento desejável para vastos leques de aplicações. Elas são uma tecnologia demonstrada e são geralmente mais baratas em muitos casos.
- sistema de armazenamento de energia hídrica com bombeamento de água → tem um grande custo inicial de capital, contudo é possivelmente o sistema mais barato em termos de custos de longo prazo. A energia hídrica é armazenada num grande reservatório e é convertida usando uma electrobomba de água e um gerador eléctrico com turbina hídrica.

Usando as previsões da velocidade do vento em valor médio, o estado do DAE, e as medições da tensão do tipo CA, um sistema de gestão de energia baseado em lógica imprecisa pode ser usado para definir o nível de potência eléctrica de saída, e por conseguinte otimizar o uso do SAE.

A base-de-dados de regras foi desenvolvida para atender ao balanceamento das necessidades de modo a suavizar as flutuações da potência eléctrica de saída, reduzir a potência de saída durante uma condição de tensão baixa, e assegurar que o DAE se mantém em operação durante todos os períodos de tempo.

O ponto de definição inicial é determinado usando o valor médio da velocidade do vento, que é obtido a partir de um método de previsão, ou a partir de medições locais da velocidade do vento. O algoritmo assegura que existe sempre alguma quantidade de base da energia armazenada no DAE, e que esta condição é cumprida pela modificação desse valor de referência. Também, um certo limiar abaixo do limite superior do DAE é mantido para assegurar que esse limite é respeitado. Para a componente transitória do controlo, o valor eficaz da tensão é monitorizado e a potência eléctrica de saída pode ser truncada usando o DAE, enquanto que a potência eólica de entrada pode ser limitada através do uso do ângulo de passo das pás em algumas turbinas eólicas.

Na ocorrência de um abaixamento da tensão, o algoritmo reduz a potência eléctrica fornecida à rede. Este sinal é filtrado levemente em ordem a limitar o retorno à operação normal e lentamente lançar a potência armazenada durante o abaixamento da tensão. Isto é um segundo motivo para

manter uma certa acalmia na energia armazenada, e para facilitar o armazenamento temporário da potência durante distúrbios.

Juntas as funções normal e transitória do sistema de gestão ajudam a:

- suavizar a potência eléctrica de saída;
- garantir que o DAE se mantém em operação;
- limitar a aceleração do gerador eléctrico durante distúrbios.

As regras foram implementadas seguindo técnicas de lógica imprecisa padronizada ($\leftarrow(P,I)$ — “standard fuzzy logic”). Seguindo a imprecisão, cada uma das regras foi disparada através da combinação dos conjuntos imprecisos usando equivalentes imprecisos de E-lógico ($\leftarrow(P,I)$ — “AND”) e NÃO-lógico ($\leftarrow(P,I)$ — “NOT”), tal como:

$$E(\mu_x, \mu_y) = \min(\mu_x, \mu_y)$$

$$NÃO(\mu_x) = 1 - \mu_x$$

$$\mu_x, \mu_y \in [0; 1]$$

No trabalho de “C. Abbey” e “G. Joos” «[5]», a principal fonte de energia é a energia eólica, devido à variabilidade e à imprevisibilidade desta fonte de energia, é então necessário ter um SAE para reduzir ou eliminar impactos negativos na geração de electricidade. No SEH existente no edifício J da FEUP, a energia eólica também é utilizada como fonte de energia, e para o SAE, tem-se as baterias electroquímicas como DAE’s, para atenuar os efeitos negativos dessa fonte de energia e para dispor de energia que se converta em energia eléctrica durante períodos de ausência ou insuficiência das fontes de energia.

Para gerir as transformações e as transferências de energia no sistema produtor de energia eléctrica constituído por aerogeradores e no SAE, foi feito um sistema de gestão de energia baseado em lógica imprecisa no trabalho de “C. Abbey” e “G. Joos” «[5]».

Esse sistema de gestão de energia tem como parâmetros de entrada:

- as previsões da velocidade do vento em valor médio;
- o estado do DAE;
- as medições da tensão do tipo CA.

Como parâmetro de saída, é definido o nível de potência eléctrica de saída que é entregue para o consumo eléctrico, e por conseguinte, o sistema de gestão de energia permite otimizar o uso do SAE.

2.2.6 - Documento sobre ‘Compromisso entre Custo e Fiabilidade em Desenho-de-Projecto Óptimo de um Sistema Energético Híbrido Autónomo Usando o Algoritmo de Optimização por Enxame de Partículas (OEP) com Números Inteiros Aproximados’

A gestão óptima de recursos num SEH de geração eléctrica é crucial para atingir níveis aceitáveis de custos e fiabilidade, tal como é referido no documento de “Lingfeng Wang” e “Chanan Singh” «[6]».

Por causa da complexidade do problema, foi utilizado um algoritmo de optimização por enxame de partículas (‘OEP’ $\leftarrow(P,I)$ — “PSO”) de multi-objectivo com números inteiros aproximados para as variáveis independentes, e esse algoritmo permite determinar soluções ‘não-dominadas’ para o ‘desenho-de-projecto’ óptimo.

Os SEH’s considerados têm aproveitamento energético eólico e solar-fotovoltaico, e armazenamento de energia em baterias electroquímicas. Em regiões remotas ou isoladas, esses SEH’s são uma alternativa viável para satisfazer a procura de electricidade pelos agentes consumidores, devido à diminuição das reservas de combustíveis fósseis e ao aumento das preocupações ambientais por causa da poluição desses combustíveis.

As produções eléctricas dos aerogeradores e dos painéis fotovoltaicos são significativamente influenciadas pelas condições do tempo climático, tais como velocidade do vento e insolação

respectivamente. Para além disso, os custos iniciais do equipamento dos SEH's considerados são muito caros, existindo também custos de manutenção.

A combinação apropriada dos componentes do SEH é capaz de reduzir os custos de produção eléctrica, bem como ampliar a fiabilidade de todo o sistema.

Foi projectado um SEH com funcionamento isolado, em que se minimizou os custos totais e se maximizou a fiabilidade simultaneamente, usando o método de 'OEP' (optimização por enxame de partículas).

Os objectivos específicos do projecto são:

- 1) o custo total dos dispositivos do SEH, que inclui os custos iniciais, os custos operacionais e os custos de manutenção;
- 2) a fiabilidade do SEH, cujo respectivo índice é calculado com base na energia eléctrica (expectável) não-fornecida por ano.

As restrições do projecto são:

- 1) a restrição de balanço de potência entre produção e consumo de electricidade;
- 2) o intervalo de actuação das variáveis de projecto.

Em sumário, o objectivo geral do projecto óptimo para um SEH com fontes de energia renováveis é simultaneamente minimizar o custo total e maximizar a fiabilidade, sujeito a várias restrições.

Os parâmetros de projecto, que devem ser usados como parâmetros principais de entrada, incluem:

- a área de varrimento dos aerogeradores;
- a área de captação solar dos painéis fotovoltaicos;
- a capacidade total de armazenamento energético das baterias.

No trabalho de “Lingfeng Wang” e “Chanan Singh” «[6]», as fontes de energia do SEH são a energia solar e a energia eólica. Esse SEH contém um SAE que é constituído por baterias electroquímicas. O SEH existente no edifício J da FEUP tem essas mesmas características que existem no SEH analisado por “Lingfeng Wang” e “Chanan Singh” «[6]».

A minimização do custo total do SEH e a maximização da fiabilidade do SEH são dois objectivos específicos difíceis de atingir simultaneamente, porque quando se diminui o custo total então diminui-se a fiabilidade, e quando se aumenta a fiabilidade então aumenta-se o custo total. Por isso, é necessário determinar o ponto óptimo do compromisso entre o custo total e a fiabilidade.

2.2.7 - Documento sobre ‘Um Conversor Multi-Direccional de Energia para um Sistema Híbrido de Geração Distribuída de Electricidade proveniente de Energia Renovável com Armazenamento em Bateria’

No documento de “Mei Qiang”, “Wu Wei-yang” e “Xu Zhen-lin” «[7]», é proposto um conversor de CC-CC (→ corrente contínua para corrente contínua) até 4 direcções de fluxo de energia eléctrica em simultâneo para um SEH de geração distribuída de electricidade proveniente de energia eólica e de energia solar com armazenamento de energia em baterias electroquímicas.

Os SEH's do tipo eólico-solar-fotovoltaico com funcionamento isolado são opções de escolha bastante atractiva para áreas rurais remotas ou áreas com insuficiente fornecimento de electricidade pela rede eléctrica convencional. Contudo, é necessário um conjunto de baterias que armazenem energia para entregar, à ‘carga-de-sistema’, uma quantidade de energia eléctrica que seja fiável e satisfaça o consumo eléctrico.

A energia solar e a energia eólica são bastante complementares em função do tempo cronológico, porque em dias ensolarados, o vento é normalmente fraco, e em dias enevoados ou em período nocturno, o vento é frequentemente forte. A combinação de um arranjo de painéis

fotovoltaicos (que também se pode designar por gerador ‘solar-foto-eléctrico’) com um aerogerador reduz os intervalos de tempo em que a produção eléctrica total é nula. Por consequência, um SEH do tipo eólico-solar-fotovoltaico tem uma maior disponibilidade para entregar continuamente electricidade do que um sistema energético com uma só fonte de energia, e por isso requer uma menor dimensão dos dispositivos armazenadores de energia.

O SEH considerado é constituído por quatro partes principais:

- gerador ‘eólico-eléctrico’ (GEE), que também se pode designar por aerogerador;
- gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE);
- conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ);
- conversor multi-direccional de energia eléctrica (CMDEE).

O conversor multi-direccional de energia eléctrica (CMDEE) interliga os outros componentes do SEH e o sistema consumidor de energia eléctrica (SCEE), e permite que haja até 4 direcções de fluxo de energia eléctrica durante o funcionamento do SEH.

Os modos de funcionamento do SEH permitidos pelo CMDEE são:

- modo 0: { GEE $\rightarrow$ SCEE; GSFE $\rightarrow$ SCEE; CBEQ $\rightarrow$ SCEE };
- modo 1: { GEE $\rightarrow$ SCEE; GEE $\rightarrow$ CBEQ; GSFE $\rightarrow$ SCEE; GSFE $\rightarrow$ CBEQ };
- modo 2: { GSFE $\rightarrow$ SCEE; CBEQ $\rightarrow$ SCEE };
- modo 3: { GEE $\rightarrow$ SCEE; CBEQ $\rightarrow$ SCEE };
- modo 4: { CBEQ $\rightarrow$ SCEE };
- modo 5: { GSFE $\rightarrow$ SCEE; GSFE $\rightarrow$ CBEQ };
- modo 6: { GEE $\rightarrow$ SCEE; GEE $\rightarrow$ CBEQ };
- modo 7: { GEE $\rightarrow$ CBEQ; GSFE $\rightarrow$ CBEQ };
- modo 8: { GSFE $\rightarrow$ CBEQ };
- modo 9: { GEE $\rightarrow$ CBEQ };

No trabalho de “Mei Qiang”, “Wu Wei-yang” e “Xu Zhen-lin” «[7]», o SEH analisado é do mesmo tipo que o SEH existente no edifício J da FEUP.

O conversor multi-direccional de energia eléctrica (CMDEE) poderá ter interesse para controlar o fluxo de energia eléctrica no SEH existente no edifício J da FEUP.

2.2.8 - Documento sobre ‘Produção de Energia Eléctrica para Sítio Isolado por Sistema Híbrido de Conversão de Energia Solar’

No documento de “Muriel Alaphilippe”, “Pascal Stouffs” e “Didier Marquet” «[8]», é feito o estudo de SEH’s de produção de energia eléctrica para aplicações de telecomunicação em sítio isolado. O componente principal desses SEH’s é um motor térmico accionado por calor externo, e este motor transfere energia mecânica para um gerador eléctrico que produz electricidade. O calor externo é obtido por um fluido intermediário aquecido através de um concentrador solar semi-cilindro-parabólico que converte energia solar em energia térmica do fluido.

A esses componentes de base, pode-se juntar outros componentes para armazenamento de energia e-ou conversão de energia, tais como:

- dispositivo armazenador de energia térmica do fluido;
- dispositivo armazenador de combustível fóssil ou bio-combustível, e queimador do combustível;
- conjunto de baterias electroquímicas.

As configurações possíveis foram avaliadas para fornecer 1 [kW_e] em regime permanente e para 5 diferentes localizações geográficas que são:

- “Antananarivo” em Madagáscar;
- “Gaborone” em ‘Botsuana’;
- “Saint Denis” na ilha da “Réunion”;
- Cairo no Egipto;
- “Lyon” em França.

As modelizações foram efectuadas com base num dia típico, em valor médio, do mês mais desfavorável em radiação solar, que é Janeiro no hemisfério norte e Junho no hemisfério sul, excepto para “Lyon” onde se considerou o mês de Junho e o mês de Janeiro.

A configuração de base do sistema energético consiste na ligação de um concentrador solar semi-cilindro-parabólico simples e pouco custoso com um motor térmico (“Ericsson”) que funciona em ciclo aberto e que acciona um gerador eléctrico. Na ausência de radiação solar, o consumo eléctrico da ‘carga-de-sistema’ é satisfeito pelo conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ) que foi previamente carregado pelo gerador eléctrico.

Uma outra configuração é um SEH conjugado com a configuração de base. Neste SEH, existe uma contribuição auxiliar de calor proveniente da combustão de combustível fóssil ou bio-combustível, a fim de reduzir drasticamente o tamanho do conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ).

No trabalho de “Muriel Alaphilippe”, “Pascal Stouffs” e “Didier Marquet” «[8]», o SEH analisado é diferente do tipo de SEH existente no edifício J da FEUP, mas têm em comum uma fonte de energia que é a energia solar.

O SEH, analisado por “Muriel Alaphilippe”, “Pascal Stouffs” e “Didier Marquet” «[8]», é do tipo ‘solar-termo-eléctrico-combustível’ com armazenamento de energia em várias formas-de-energia. Este SEH tem, como formas iniciais de energia, a energia solar e a energia química do combustível. Esse tipo de SEH analisado apresenta um rendimento energético melhor do que um SEH do tipo ‘solar-foto-eléctrico-combustível’ na parte de aproveitamento energético solar.

2.2.9 - Documento sobre ‘O Hidrogénio Electrolítico como Meio de Armazenamento de Energia proveniente de Electricidade para Sistemas Fotovoltaicos Isolados’

No trabalho de “Julien Labbé” «[9]», é feito o estudo da produção, armazenamento e utilização do hidrogénio, o qual pode ser integrado como uma forma-de-energia para armazenamento de energia num SEH.

O contexto energético actual, caracterizado pelo empobrecimento das reservas das energias fósseis, pelo aquecimento do planeta Terra em parte devido à emissão de gases de efeito de estufa e pelo conceito de desenvolvimento durável e sustentável, suscita o progresso de soluções energéticas alternativas.

Numerosas acções são conduzidas actualmente a vários níveis:

- na limitação das emissões de gases com efeito de estufa (protocolo de Quioto, em 1998);
- na valorização dos sistemas energéticos (cogeração de electricidade e de calor);
- na redução do consumo de formas-de-energia (fiscalização da procura de electricidade);
- no desenvolvimento do aproveitamento energético de novos recursos, tais como as energias renováveis mas também a energia nuclear (a médio prazo, com os reactores nucleares de água pressurizada, e a longo prazo, com a fusão nuclear).

Em SEH’s de produção eléctrica proveniente de energias renováveis não-armazenáveis e com funcionamento isolado, utiliza-se geralmente baterias de chumbo para o armazenamento de energia. As razões principais para o uso de baterias são a maturidade deste equipamento tecnológico e o custo reduzido em relação a outros equipamentos. A utilização dessas baterias à escala sazonal é inviável, porque as baterias não podem ficar inutilizadas durante muito tempo sem consequências nefastas para a sua duração de existência. O funcionamento diário das baterias permite instalar apenas uma pequena capacidade de armazenamento de energia, em que se atinge rapidamente o limite máximo da carga eléctrica das baterias. Portanto, não é possível muitas vezes aproveitar a totalidade das energias renováveis disponíveis para as converter em electricidade que é usada pela

‘carga-de-sistema’ ou que é convertida em energia ‘electrolítica’ armazenada nas baterias. Por consequência, pode haver um sobredimensionamento dos geradores eléctricos existentes nos SEH’s.

A abundância do hidrogénio, estando integrado na forma de água sobre o planeta Terra, e as suas qualidades física e química conferem-lhe um potencial importante para ser utilizado como uma forma energética armazenável e transformável em electricidade.

Considerando um sistema unitário energético, que também se pode designar por unidade de transformação energética, que é constituído pelos seguintes componentes:

- um electrolizador → que permite a produção do gás de hidrogénio usando água e electricidade;
- um reservatório de gás → onde se armazena o gás de hidrogénio produzido;
- uma pilha de combustível → que é capaz de restituir a electricidade a partir do gás de hidrogénio.

Esse sistema unitário energético é um meio de armazenar energia, tal como uma bateria electroquímica e sem as consequências nocivas deste dispositivo em poluição química provocada pelo derrame do electrólito de ácido corrosivo ou pelo abandono de placas de chumbo no ambiente.

A definição e a avaliação das potencialidades desse meio de armazenamento de energia proveniente de electricidade são o principal objectivo do trabalho de tese do “Julien Labbé” «[9]».

A ‘unidade de armazenamento de energia à base do hidrogénio’ (‘UAEH’ ←(P,F)— “USEH” ← “unité de stockage d’énergie à base d’hydrogène”) pode ser usada em conjunção com as baterias electroquímicas de chumbo.

A ‘unidade de armazenamento de energia à base do hidrogénio’ (‘UAEH’) pode-se designar por sistema de armazenamento de energia ‘hidrogénica’ (SAE-HDG), e o conjunto de baterias electroquímicas de chumbo com mais algum equipamento de controlo pode-se designar por sistema de armazenamento de energia ‘electrolítica’ (SAE-ELO).

Para atingir os objectivos do trabalho de tese do “Julien Labbé” «[9]», foi utilizada a simulação numérica do sistema energético, porque diminui os encargos com o equipamento deste sistema.

Foi elaborado um simulador do sistema energético completo baseado na modelização de cada componente. Os componentes são:

- a ‘carga-de-sistema’ que corresponde ao consumo eléctrico do utilizador final;
- um gerador ‘solar-foto-eléctrico’ que capta a energia renovável, que é a energia solar, e transforma-a em electricidade;
- os algoritmos de gestão e conversão de energia no interior do sistema energético;
- os conversores que permitem a ligação entre os diferentes componentes;
- os três sistemas de armazenamento de energia proveniente de electricidade, que são:
 - o sistema de armazenamento de energia ‘electrolítica’ (SAE-ELO);
 - o sistema de armazenamento de energia ‘hidrogénica’ (SAE-HDG);
 - o sistema de armazenamento de energia ‘hidrogénica’ e de energia ‘electrolítica’ (SAE-HDG-ELO) que é um sistema de armazenamento conjugado (que também se pode designar por híbrido).

O simulador foi testado para os seguintes casos:

- três localizações geográficas distintas, que correspondem a três perfis de disponibilidade do recurso energético solar;
- vários perfis de consumo eléctrico, que correspondem a diferentes tipos de utilização da electricidade produzida a partir da energia solar.

Para cada caso testado, o dimensionamento dos componentes do sistema foi feito a partir de rotinas de optimização colocadas nos algoritmos para essa finalidade.

O tratamento e a comparação dos resultados de simulação obtidos, em termos de dimensionamento e de desempenhos dos sistemas, foram facilitados pela colocação de dois factores de correlação entre o consumo eléctrico e a irradiação solar à escala diária (C_d) e à escala sazonal (C_s). A síntese dos resultados permitiu preconizar qual o tipo de armazenamento de energia a utilizar em função desses factores de correlação.

Foi possível mostrar que existia casos para os quais o armazenamento de energia ‘hidrogénica’ proveniente de electricidade, no sistema de armazenamento de energia ‘hidrogénica’ (SAE-HDG), trazia melhorias em termos de dimensionamento do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE) e de desempenho do sistema energético global, em relação ao sistema de armazenamento de energia ‘electrolítica’ (SAE-ELO). Por fim, de todos os casos testados, a conjugação do sistema de armazenamento de energia ‘hidrogénica’ (SAE-HDG) com o sistema de armazenamento de energia ‘electrolítica’ (SAE-ELO) permitiu aumentar os desempenhos dos sistemas, mais do que se utilizasse unicamente o sistema de armazenamento de energia ‘hidrogénica’ (SAE-HDG).

Nos sistemas reais, a gestão da energia eléctrica produzida e consumida pelos diferentes componentes durante o seu funcionamento é assegurada geralmente por um componente central, ao qual os aparelhos são ligados através de diversos conversores. Os algoritmos de gestão de energia são implementados nesse componente central, o que permite assegurar a autonomia do sistema energético.

Um algoritmo de gestão de energia foi desenvolvido para cada sistema energético estudado. A cada passo de tempo de dez minutos, o algoritmo faz a gestão da repartição da energia no interior do sistema energético.

Essa diligência aplicada é idêntica para cada um dos sistemas energéticos. Os balanços de energia são sempre efectuados ao nível do barramento comum de ligação dos diversos componentes do sistema energético. A prioridade é o fornecimento da energia eléctrica requerida pelo sistema consumidor de energia eléctrica (SCEE) a partir da energia eléctrica produzida pelo gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE).

O trabalho de “Julien Labbé” «[9]» consiste no estudo de uma alternativa ao armazenamento de energia por meio de baterias electroquímicas, a qual é o sistema de armazenamento de energia ‘hidrogénica’ (SAE-HDG) para o melhor aproveitamento da electricidade proveniente da energia solar disponível que é uma forma-de-energia não-armazenável e intermitente. No SEH existente no edifício J da FEUP também se usa a energia solar como uma fonte de energia, e também se pretende estudar o armazenamento de energia ‘hidrogénica’ em alternativa ou em conjugação com outras formas-de-energia armazenáveis que são a energia ‘electrolítica’ e a energia hídrica.

No trabalho de “Julien Labbé” «[9]», foi feito um programa informático simulador do sistema energético completo para o qual se modelizou os vários componentes do sistema. Um desses componentes é constituído por algoritmos de gestão e conversão de energia no interior do sistema energético, o qual permite gerir os fluxos de energia eléctrica e a conversão desta forma-de-energia não-armazenável em formas-de-energia armazenáveis e também em sentido contrário.

Esse programa simulador é semelhante ao que se pretende fazer no trabalho de dissertação.

2.2.10 - Documento sobre ‘Sistemas Energéticos Híbridos para Fins Produtivos em Comunidades de Lambaieque no Peru’

No projecto de “Roberto Pineda León” e “Johnny Nahui Ortiz” «[10]», analisa-se os SEH’s como alternativa de fornecimento de energia eléctrica em zonas rurais isoladas no Peru.

Avalia-se a evolução temporal actual de consumo eléctrico, que está relacionado basicamente com a iluminação, e um novo perfil de consumo eléctrico, que incorpora o uso de electricidade para fins produtivos.

Considerando que na região existe potencial para o aproveitamento da energia solar, da energia eólica, e também da energia da biomassa (biogás), é feita uma configuração energética para o sistema energético híbrido, na qual se dispõe dos seguintes componentes:

- um aerogerador;
- um painel fotovoltaico;
- uma bateria;
- um inversor, que também se pode designar por conversor CC-CA;
- um motor-gerador, que pode operar com gasolina ou com biogás.

Tendo em conta os aspectos técnicos e económicos relacionados com os custos de investimento e de operação ao longo da existência útil do SEH para as características do perfil estabelecido de procura de energia eléctrica e com a disponibilidade dos recursos energéticos identificados, foi obtida uma solução na qual a maior parte da geração eléctrica seria proporcionada mediante uma combinação do uso do motor-gerador e das baterias, e a restante geração eléctrica viria do aerogerador e do painel fotovoltaico.

No caso do SEH funcionar com um motor-gerador usando biogás em vez de gasolina, então se reduziria consideravelmente as emissões de substâncias poluentes relacionadas com a combustão de combustíveis fósseis que liberta gases mais tóxicos do que a combustão de biogás.

O fornecimento de electricidade, por meio de tecnologias ‘limpas’, que também se pode designar por não-poluentes, de transformação energética, pode contribuir para resolver a problemática de electrificação de zonas rurais isoladas, de maneira sustentável e em harmonia com o ambiente. Essas tecnologias não-poluentes de transformação energética são:

- a tecnologia ‘solar-foto-eléctrica’;
- a tecnologia ‘eolo-eléctrica’.

O método de avaliação considera a análise das características particulares dos componentes do SEH, assim como as respectivas formas iniciais (que também se pode designar por fontes) de energia que entram de modo integrado e combinado para o SEH.

A metodologia permite avaliar o custo da produção eléctrica global, que inclui os custos de investimento, expressos em [\$/ (kW.ano)], e os custos de funcionamento anual, expressos em [\$/ (kW.h)].

Cada um dos componentes pode ser utilizado em diferentes capacidades e em várias combinações, a fim de produzir energia eléctrica, em termos de quantidade de energia e de potência, requerida pelo perfil de procura de electricidade ao menor custo possível.

Outras variáveis de análise podem incluir também a minimização do uso de recursos energéticos não-renováveis e a minimização das emissões de gases poluentes e de outras substâncias poluentes para o ambiente.

O perfil analisado de procura de electricidade tem uma potência eléctrica média por hora entre 60 [W] e 1.600 [W], para o período de tempo entre as 6 [h] e as 22 [h], e tem uma potência nula para o resto do dia.

A caracterização do SEH permite obter a configuração óptima do SEH e os custos associados ao seu funcionamento. Como exemplo, é apresentada uma configuração na qual o custo de geração eléctrica é 0,484 [\$/ (kW.h)]. Nesta configuração, utiliza-se os seguintes componentes:

- um painel fotovoltaico de 50 [W_p];
- um aerogerador de 100 [W];
- um motor-gerador abastecido de gasolina, com 2 [kW];
- três baterias de 200 [A.h];
- um conversor CC-CA de 1 [kW].

Na configuração analisada do SEH, observou-se a presença de contaminantes (que também se pode designar por substâncias poluentes) tais como:

- dióxido de carbono (CO₂);
- monóxido de carbono (CO);
- hidrocarbonetos não-queimados;
- poeiras;
- dióxido de enxofre (SO₂);
- óxidos de azoto (NO_x).

Esses impactos ambientais poderiam ser significativamente minorados, se fosse utilizado biogás em vez de gasolina no motor-gerador.

Um paradigma frequente acerca das energias renováveis é que como essas formas iniciais de energia são gratuitas então não é necessário controlar a energia eléctrica que se consome. No caso dos SEH's é importante observar os critérios de eficiência energética, e deste modo contribuir para

que os SEH's requeridos sejam mais compactos, com menor custo de operação e maior fiabilidade de fornecimento de electricidade.

A geração eléctrica a partir de SEH's oferece alternativas interessantes em relação à flexibilidade para se adaptar a novos perfis de procura de electricidade em zonas rurais.

A modelização e caracterização dos SEH's permite avaliar os aspectos técnicos e económicos de certas configurações em condições particulares, e também efectuar a avaliação de cenários, determinando os valores críticos dos parâmetros que permitem escolher a melhor configuração.

A maior parte dos componentes do SEH analisado por “Roberto Pineda León” e “Johnny Nahui Ortiz” «[10]» está contida no SEH existente no edifício J da FEUP com excepção do motor-gerador abastecido por gasolina ou por biogás.

Para obter uma boa solução na configuração do SEH, é preciso conhecer a evolução temporal da procura de electricidade e a disponibilidade dos recursos energéticos renováveis.

A eficiência energética no consumo eléctrico é importante, porque permite evitar o sobredimensionamento do SEH para uma produção eléctrica que satisfaça o consumo eléctrico. Essa eficiência energética pode ser feita usando dispositivos consumidores eléctricos com melhores rendimentos energéticos, e mudando alguns consumos eléctricos dos períodos de maior consumo para períodos de menor consumo reduzindo o consumo máximo durante cada dia.

O trabalho de “Roberto Pineda León” e “Johnny Nahui Ortiz” «[10]» tem utilidade para a fase de projecto de um SEH, e apresenta alguns aspectos para ultrapassar as barreiras que impedem a propagação dos SEH's baseados no uso de energias renováveis. Esses aspectos são:

- apoio financeiro na aquisição do equipamento do SEH;
- formação e capacitação dos utilizadores do SEH;
- controlo do consumo eléctrico por eficiência energética que evita o sobredimensionamento do SEH.

2.3 - Conclusões acerca dos documentos analisados

A gestão de um SEH é importante para obter o melhor aproveitamento dos recursos energéticos e garantir a sustentabilidade do sistema, minimizando os custos e maximizando a fiabilidade do SEH.

Se os recursos energéticos do SEH são energias renováveis não-armazenáveis, tais como a energia solar e a energia eólica, então é necessário converter essas formas-de-energia para formas-de-energia armazenáveis, tais como a energia ‘electrolítica’, a energia hídrica e a energia ‘hidrogénica’, de modo a suprir os requisitos de energia eléctrica da ‘carga-de-sistema’ quando as fontes de energia são insuficientes ou inexistentes.

A aplicação dos SEH’s é uma alternativa atractiva para a electrificação de zonas isoladas em vez da expansão da rede eléctrica convencional, porque:

- permite usar os recursos de energias renováveis, em contrapartida aos recursos de energias não-renováveis fósseis;
- aproveita os recursos energéticos existentes nessas zonas;
- pode-se dimensionar cada SEH em função da necessidade real de cada aglomerado populacional de agentes consumidores de electricidade;
- permite a descentralização e a autonomia da produção eléctrica, e por consequência, a redução de perdas eléctricas na distribuição de electricidade.

Para além de se resolver o problema de encontrar a melhor alternativa para a produção eléctrica por um SEH em função dos recursos energéticos disponíveis, é preciso implementar o melhor modelo de gestão económico-financeira e de manutenção, para que haja sustentabilidade do SEH, ou seja, o SEH funcione bem durante muito tempo com o menor custo possível.

A integração de um componente de gestão de armazenamento e conversão de energia num SEH permite otimizar o uso do sistema armazenador de energia (SAE) e suavizar as transições do nível de potência eléctrica à saída do SEH.

Um SEH que tenha duas fontes de energia renováveis complementares, permite reduzir os intervalos de tempo em que a produção eléctrica total é nula, por conseguinte, esse SEH tem uma maior disponibilidade de electricidade do que um sistema energético com uma só dessas fontes de energia, e por isso o SEH requer uma menor dimensão dos dispositivos armazenadores de energia (DAE’s).

É importante que haja eficiência energética no consumo eléctrico do sistema consumidor de energia eléctrica (SCEE), para que se evite dimensionar por excesso o SEH e, por consequência, aumentar o seu custo de investimento.

Capítulo 3 - Modelização e caracterização do SEH existente no edifício J da FEUP

3.1 - Modelização do sistema energético híbrido (SEH) existente

O sistema energético híbrido (SEH), com equipamento existente no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), foi modelizado, para o primeiro esquema na figura 3.1, em função da localização de cada componente. Nas fotografias 3.1, 3.2, e 3.3, ilustra-se os locais do primeiro esquema.

Para o segundo esquema na figura 3.2, modelizou-se o SEH (com ligações incompletas para ser um sistema verdadeiramente híbrido) em função das formas-de-energia principais e em função da estrutura de sistema relativamente à transformação de electricidade.

O SEH existente, no edifício J da FEUP, tem pelo menos duas formas-de-energia primárias que são a energia solar e a energia eólica, mas não está a funcionar como um sistema energético híbrido por causa do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ não ter ligação e não fornecer electricidade ao conjunto de baterias electroquímicas e ao projector de luz.

A energia eléctrica produzida pelo gerador ‘solar-foto-eléctrico’ é transferida totalmente para a rede eléctrica da FEUP. O gerador ‘eolo-eléctrico’ poderá vir a ter uma ligação à rede eléctrica da FEUP, mas neste momento essa ligação não está prevista.

O projector de luz e o conversor de corrente contínua para corrente alternada, de índice 1, não estavam a ser usados e tinham os seus cabos eléctricos desligados, e por consequência, o gerador ‘eolo-eléctrico’ produz electricidade apenas para carregar o conjunto de baterias electroquímicas quando é necessário, e se houver excesso de produção eléctrica, então a energia eléctrica excedente é eliminada na resistência ‘electro-térmica’ de despejo sendo transformada em energia calorífica.

O anemómetro estava colocado sobre a cobertura superior do compartimento no topo do edifício J da FEUP, e estava apoiado numa haste com a altura aproximada de 1 [m]. Este anemómetro estava sujeito ao efeito de turbulência causado pelo edifício. O anemómetro estava numa posição inferior ao eixo do rotor do gerador ‘eolo-eléctrico’, sendo a distância entre eles de 4 a 5 [m]. Devido ao efeito de turbulência e à posição do anemómetro em relação ao gerador ‘eolo-eléctrico’, é necessário fazer correcções aos valores medidos da velocidade do vento para que sejam aceitáveis na posição da turbina do gerador ‘eolo-eléctrico’.

O dispositivo registador de dados serve para registar os dados provenientes do anemómetro e transferi-los para o computador 2.

A mini-estação meteorológica permite medir seis parâmetros de tempo climático que são:

- a velocidade do vento;
- a direcção do vento;
- a temperatura do ar;
- a pressão atmosférica;
- a humidade atmosférica relativa;
- a precipitação de água.

A mini-estação meteorológica está ligada ao computador 2 por meio de um cabo de dados, que permite a transferência de dados usando um determinado protocolo de comunicação de dados. Esta mini-estação meteorológica tem um painel fotovoltaico e uma bateria electroquímica, podendo assim funcionar com autonomia e em modo isolado.

O contador monofásico bi-horário de energia eléctrica é usado para contar a quantidade de energia eléctrica entregue à rede eléctrica da FEUP, proveniente do gerador ‘solar-foto-eléctrico’, e

talvez tenha uma ligação ao computador 2 para transferência de dados através do analisador trifásico de energia eléctrica.

O analisador trifásico de energia eléctrica é utilizado para medir grandezas eléctricas à saída do gerador ‘eolo-eléctrico’ no respectivo cabo eléctrico trifásico, e a transferência de dados para o computador 2 pode ser feita através do protocolo “RS232” ou do protocolo “RS485”.

3.1.1 - Esquema de localização dos componentes do equipamento no SEH

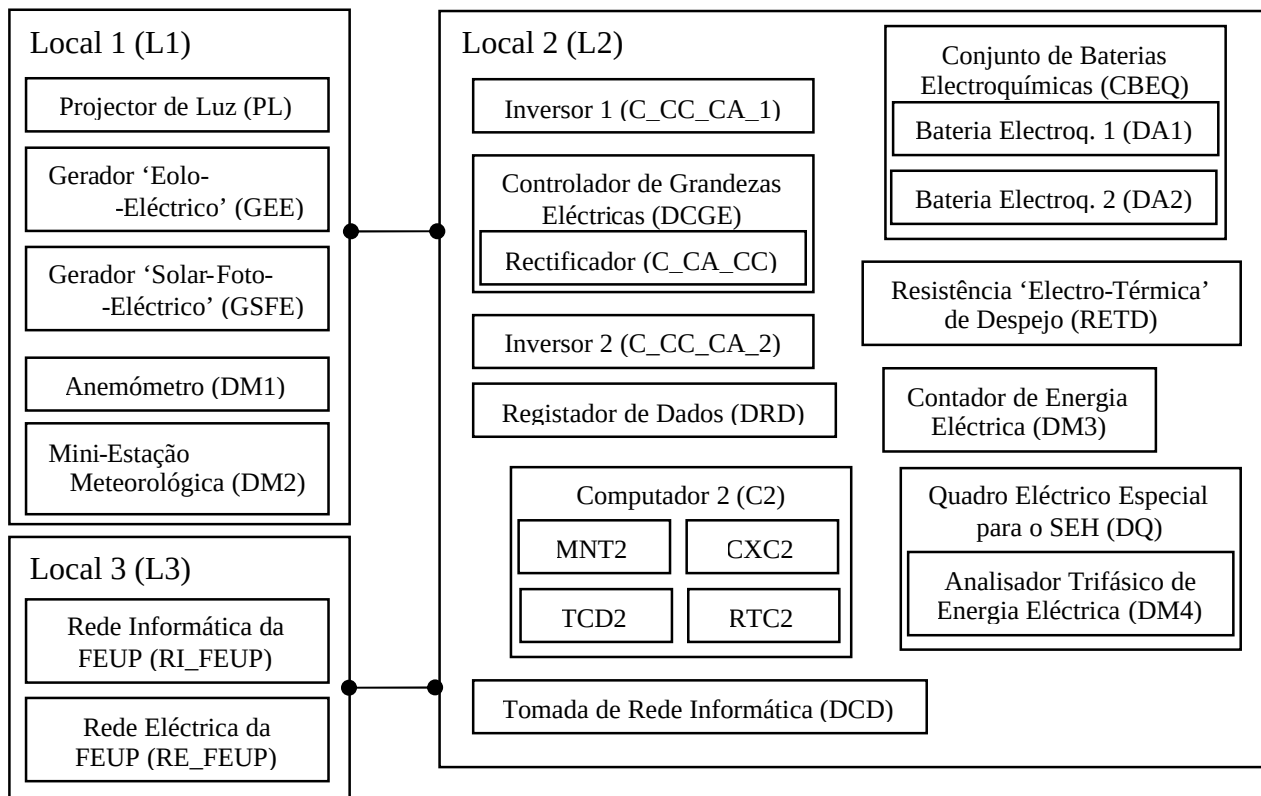


Figura 3.1: Esquema de localização dos componentes do equipamento no SEH existente

Fotografias dos locais do esquema:



Fotografia 3.1: Local 1



Fotografia 3.2: Local 2



Fotografia 3.3: Local 3

Legenda do esquema:

- L1 → local 1, que está fora do compartimento e sobre a cobertura no topo do edifício J da FEUP
- L2 → local 2, que está dentro do compartimento no topo do edifício J da FEUP
- L3 → local 3, que está fora do compartimento no topo do edifício J da FEUP e dentro do edifício J da FEUP
- GEE → gerador ‘eolo-eléctrico’, que se pode também designar por aerogerador, ou gerador eléctrico de energia eólica, e que é o 1º dispositivo produtor eléctrico do sistema energético
- GSFE → gerador ‘solar-foto-eléctrico’, que se pode também designar por gerador fotovoltaico, e que é o 2º dispositivo produtor eléctrico do sistema energético
- PL → projector de luz, que se pode também designar por holofote, e que é um dispositivo consumidor eléctrico
- RETD → resistência ‘electro-térmica’ de despejo, que se pode também designar por «carga de derivação», ou ‘carga de despejo’ ($\leftarrow(P,I)$ — “dump load”), que é um dispositivo consumidor eléctrico e é um dispositivo de ‘carga-de-sistema’ para despejo (ou descarregamento inútil $\leftarrow(P,I)$ — “dumping”) do excesso de energia eléctrica proveniente do gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE)
- C_CC_CA_1 → conversor de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), de índice 1, que se pode também designar por inversor 1, e que é um dispositivo conversor do tipo de corrente eléctrica, o qual é usado para o circuito eléctrico do gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE)
- C_CC_CA_2 → conversor de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), de índice 2, que se pode também designar por inversor 2, e que é um dispositivo conversor do tipo de corrente eléctrica, o qual é usado para o circuito eléctrico do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE)
- C_CA_CC → conversor de corrente alternada (CA) para corrente contínua (CC), que se pode também designar por rectificador, e que é um dispositivo conversor do tipo de corrente eléctrica, o qual é usado para o circuito eléctrico do gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE)
- DCGE → dispositivo controlador de grandezas eléctricas e conversor do tipo de corrente eléctrica, que é um controlador de tensão e de corrente, o qual inclui o rectificador (C_CA_CC), um regulador de tensão e um controlador de potência para o circuito eléctrico do gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE)
- DA1 → dispositivo armazenador de energia, de índice 1, que é uma bateria electroquímica
- DA2 → dispositivo armazenador de energia, de índice 2, que é uma bateria electroquímica
- CBEQ → conjunto de baterias electroquímicas, que é um conjunto de dispositivos armazenadores de energia
- DM1 → dispositivo medidor 1, que se pode também designar por anemómetro, e que é um dispositivo de medição da velocidade do vento
- DM2 → dispositivo medidor 2, que se pode também designar por mini-estação meteorológica, e que é um dispositivo de medição de vários parâmetros do tempo climático
- DM3 → dispositivo medidor 3, que se pode também designar por contador monofásico bi-horário de energia eléctrica, e que é um dispositivo de medição da quantidade de energia eléctrica

DM4 → dispositivo medidor 4, que se pode também designar por analisador trifásico de energia eléctrica, e que é um dispositivo de medição e análise de dados referentes à energia eléctrica

DRD → dispositivo registador de dados, que é um registador de dados provenientes do anemómetro (DM1)

DCD → dispositivo de comunicação de dados, que é uma tomada de rede informática

C2 → computador 2, que é o computador mais novo

DQ → dispositivo de quadro eléctrico especial para o sistema energético híbrido (SEH)

RI_FEUP → rede informática da FEUP

RE_FEUP → rede elétrica da FEUP

3.1.2 - Esquema das formas-de-energia principais no SEH

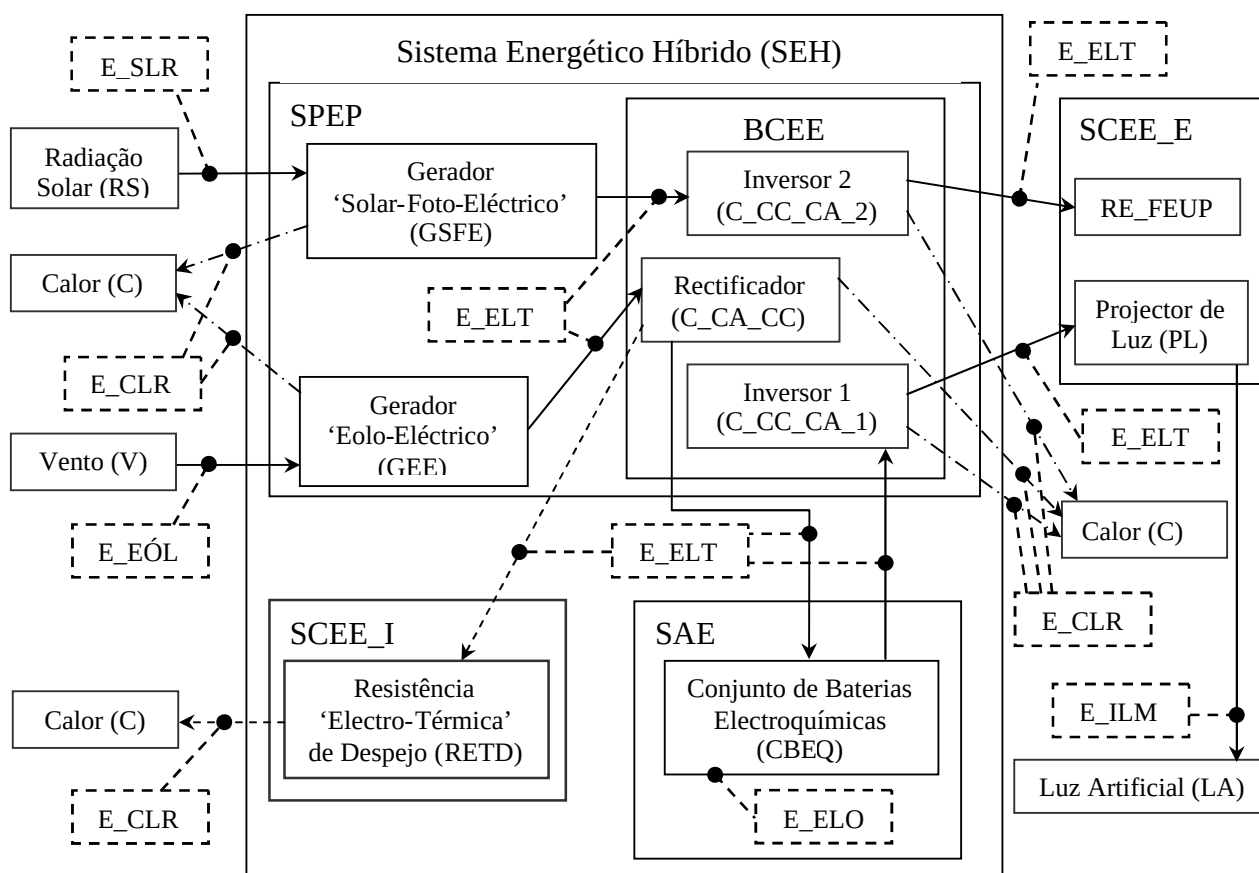


Figura 3.2: Esquema das formas-de-energia principais no SEH existente com ligações incompletas no BCEE

Legenda do esquema:

RS → radiação solar

V → vento

C → calor

LA → luz artificial

E_SLR → energia solar

E_EÓL → energia eólica

E_ELT → energia eléctrica

E_ELO → energia ‘electrolítica’, ou energia electroquímica do electrólito (das baterias)

E_CLR → energia calorífica

E_ILM → energia ‘iluminante’, ou energia da luz artificial para iluminação

‘————→’ → fluxo de energia útil

‘- - - - -→’ → fluxo de energia desperdiçada por excesso de energia não-aproveitável

‘— · — · —→’ → fluxo de energia perdida em transformação energética

SEH → sistema energético híbrido

SPEP → sistema produtor eléctrico principal

SAE → sistema armazenador (ou acumulador) de energia

SCEE_I → sistema consumidor de energia eléctrica, interno ao SEH

SCEE_E → sistema consumidor de energia eléctrica, externo ao SEH

GEE → gerador ‘eolo-eléctrico’, ou aerogerador

GSFE → gerador ‘solar-foto-eléctrico’, ou arranjo de painéis fotovoltaicos

CBEQ → conjunto de baterias electroquímicas (ou eléctricas)

BCEE → conjunto de barramentos e conversores para energia eléctrica, que é um conjunto de barramentos em corrente contínua (CC) e em corrente alternada (CA), e de conversores do tipo de corrente eléctrica

C_CC_CA_1 → conversor de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), de índice 1, ou inversor 1

C_CC_CA_2 → conversor de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), de índice 2, ou inversor 2

C_CA_CC → conversor de corrente alternada (CA) para corrente contínua (CC), ou rectificador

RETD → resistência ‘electro-térmica’ de despejo

PL → projector de luz, ou holofote

RE_FEUP → rede eléctrica da FEUP

3.2 - Descrição do equipamento usado para o sistema energético híbrido (SEH) existente

As características dos dispositivos, que fazem parte do SEH, foram obtidas a partir dos respectivos manuais de utilização, de folhetos informativos, e de páginas de ‘Teia Informática’ (←(P,I)— “Web”) na “Internet”. Essas características dos dispositivos estão descritas em pormenor no anexo 3.

Na descrição dos dispositivos, foi feita a agregação dos dispositivos em função da sua localização. Na fotografia 3.4, estão assinalados os dispositivos do local 1, e nas fotografias 3.5, 3.6, e 3.7, estão assinalados os dispositivos do local 2 que estão colocados respectivamente na parede, sobre a mesa pequena e sobre uma mesa grande. As tabelas desde 3.1 até 3.4 têm a sigla, a designação principal, e a designação alternativa (de primeira escolha) para cada dispositivo do equipamento usado.

3.2.1 - Dispositivos fora do compartimento e sobre a cobertura no topo do edifício J da FEUP



Fotografia 3.4: Dispositivos no local 1

ND	Sigla	Designação principal	Designação alternativa
1	GEE	Gerador ‘Eolo-Eléctrico’	Aerogerador
2	GSFE	Gerador ‘Solar-Foto-Eléctrico’	Arranjo de Painéis Fotovoltaicos
3	PL	Projector de Luz	Holofote
4	DM1	Dispositivo Medidor 1	Anemómetro
5	DM2	Dispositivo Medidor 2	Mini-Estação Meteorológica

Tabela 3.1: Designações dos dispositivos no local 1

Legenda:

ND → número de dispositivo

3.2.2 - Dispositivos dentro do compartimento no topo do edifício J da FEUP

3.2.2.1 - Dispositivos afixados na parede

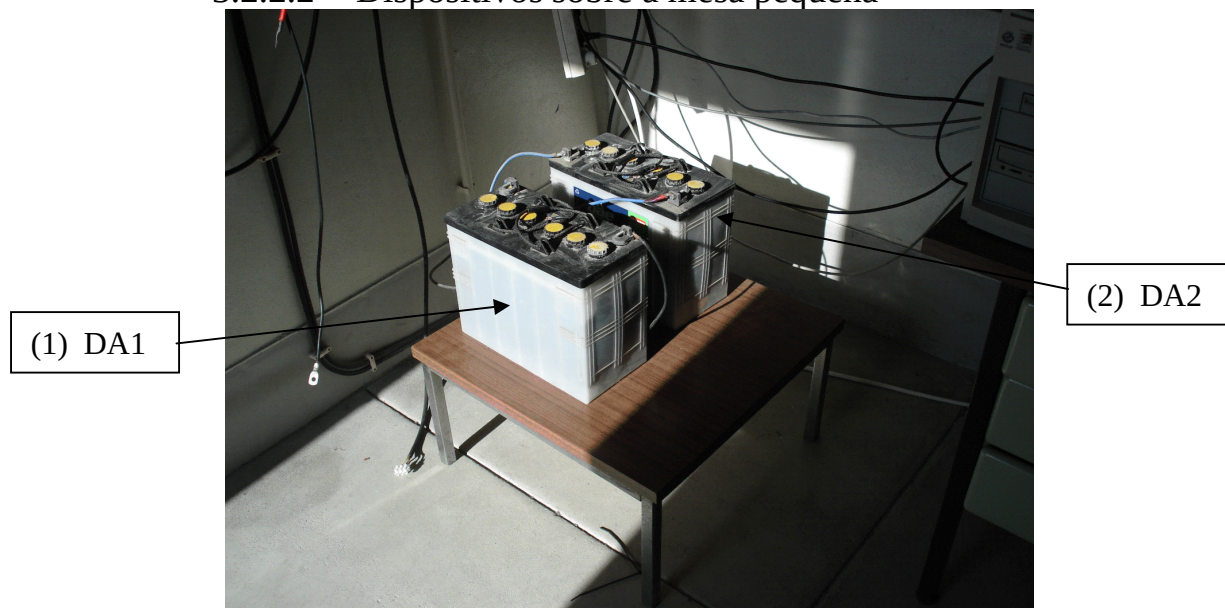


Fotografia 3.5: Dispositivos afixados na parede no local 2

ND	Sigla	Designação principal	Designação alternativa
1	C_CC_CA_1	Conversor de Corrente Contínua para Corrente Alternada, de Índice 1	Inversor 1
2	DCGE	Dispositivo Controlador de Grandezas Eléctricas e Conversor do Tipo de Corrente Eléctrica	‘Painel de Controlo’
3	RETD	Resistência ‘Electro-Térmica’ de Despejo	‘Carga de Despejo’
4	DQ	Dispositivo de Quadro Eléctrico Especial do Compartimento para o SEH	Quadro Eléctrico Especial
5	DM4	Dispositivo Medidor 4	Analizador Trifásico de Energia Eléctrica
6	DCD	Dispositivo de Comunicação de Dados	Tomada de Rede Informática
7	C_CC_CA_2	Conversor de Corrente Contínua para Corrente Alternada, de Índice 2	Inversor 2
8	DM3	Dispositivo Medidor 3	Contador Monofásico Bi-Horário de Energia Eléctrica

Tabela 3.2: Designações dos dispositivos afixados na parede no local 2

3.2.2.2 - Dispositivos sobre a mesa pequena



Fotografia 3.6: Dispositivos sobre a mesa pequena no local 2

ND	Sigla	Designação principal	Designação alternativa
1	DA1	Dispositivo Armazenador de Energia, de Índice 1	Bateria Electroquímica 1
2	DA2	Dispositivo Armazenador de Energia, de Índice 2	Bateria Electroquímica 2

Tabela 3.3: Designações dos dispositivos sobre a mesa pequena no local 2

3.2.2.3 - Dispositivos sobre uma mesa grande



Fotografia 3.7: Dispositivos sobre uma mesa grande no local 2

ND	Sigla	Designação principal	Designação alternativa
1	CXC2	Caixa-de-Computador 2	-----
2	MNT2	Monitor 2	-----
3	TCD2	Teclado 2	-----
4	RTC2	Rato-de-Computador 2	-----
5	DRD	Dispositivo Registador de Dados	-----
6	DCDA	Dispositivo de Comunicação de Dados por Antena	-----

Tabela 3.4: Designações dos dispositivos sobre uma mesa grande no local 2

Capítulo 4 - Modelização dos componentes em algumas expansões do SEH existente

4.1 - Modelização do sistema energético híbrido (SEH) para a primeira expansão com armazenamento de energia hídrica (E_HDC)

Na primeira expansão do SEH existente, considera-se duas configurações de SEH que são:

- 1) o SEH só com armazenamento de energia hídrica, que está representado na figura 4.1, no qual se retira o sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ e se acrescenta o sistema armazenador de energia hídrica;
- 2) o SEH com armazenamento de energia ‘electrolítica’ e de energia hídrica, que está representado na figura 4.3, no qual se mantém os componentes do SEH existente e se acrescenta o sistema armazenador de energia hídrica.

A primeira configuração de SEH tem três formas-de-energia iniciais que entram no sistema, as quais são:

- a energia solar para a radiação solar;
- a energia eólica para o vento;
- a energia hídrica para a chuva.

Nessa configuração de SEH, existe apenas uma forma-de-energia para armazenamento energético que é a energia hídrica, a qual corresponde à água armazenada numa posição superior à do gerador hidro-eléctrico. A forma-de-energia final útil, que sai do SEH, é unicamente a energia eléctrica, a qual é fornecida ao sistema consumidor de energia eléctrica, externo ao SEH. Uma forma-de-energia final inútil no SEH é a energia calorífica dissipada na resistência ‘electro-térmica’ de despejo por excesso de electricidade produzida no gerador ‘eolo-eléctrico’.

A segunda configuração de SEH tem as mesmas formas-de-energia que a primeira configuração de SEH para a entrada e para a saída de energia no sistema, mas tem mais uma forma-de-energia para armazenamento energético que é a energia ‘electrolítica’, a qual consiste na carga eléctrica existente nas moléculas (iões) do electrólito que tiveram uma transformação química por acção da corrente eléctrica.

Em ambas as configurações de sistema energético, tem-se um sistema energético que é híbrido, porque se conjuga (que se pode dizer em alternativa por ‘hibridiza’) a electricidade produzida proveniente de três formas-de-energia diferentes, para a mesma finalidade que é o fornecimento de electricidade ao sistema consumidor eléctrico externo. A junção da electricidade de diferentes proveniências é feita no conjunto de barramentos e conversores para energia eléctrica.

O sistema armazenador de energia hídrica (SAE_HDC) está representado na figura 4.2 e é constituído por equipamento de controlo e por quatro componentes principais que são:

- o gerador hidro-eléctrico (GHE), que transforma energia hídrica potencial para energia eléctrica;
- o motor ‘electro-hídrico’ (MEH), o qual transforma energia eléctrica para energia hídrica potencial;
- o conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS), no qual se armazena água numa posição superior à do gerador hidro-eléctrico, existindo assim energia potencial gravítica da água que é positiva em relação ao gerador hidro-eléctrico;

- o conjunto de reservatórios hídricos inferiores (CRHI), no qual se armazena água numa posição inferior à do gerador hidro-eléctrico, não havendo energia hídrica potencial positiva em relação ao gerador hidro-eléctrico, e essa água é usada para encher o conjunto de reservatórios hídricos superiores quando é necessário e possível.

Nas transformações energéticas do gerador hidro-eléctrico e do motor 'electro-hídrico', ocorrem perdas energéticas na forma de calor. No conjunto de reservatórios hídricos superiores e no conjunto de reservatórios hídricos inferiores, pode haver perdas de água por evaporação e desperdícios de água por excedimento do limite máximo de armazenamento hídrico.

4.1.1 - Esquemas das formas-de-energia principais no SEH só com armazenamento de energia hídrica (E_HDC)

4.1.1.1 - Esquema do SEH sem representação de perdas energéticas

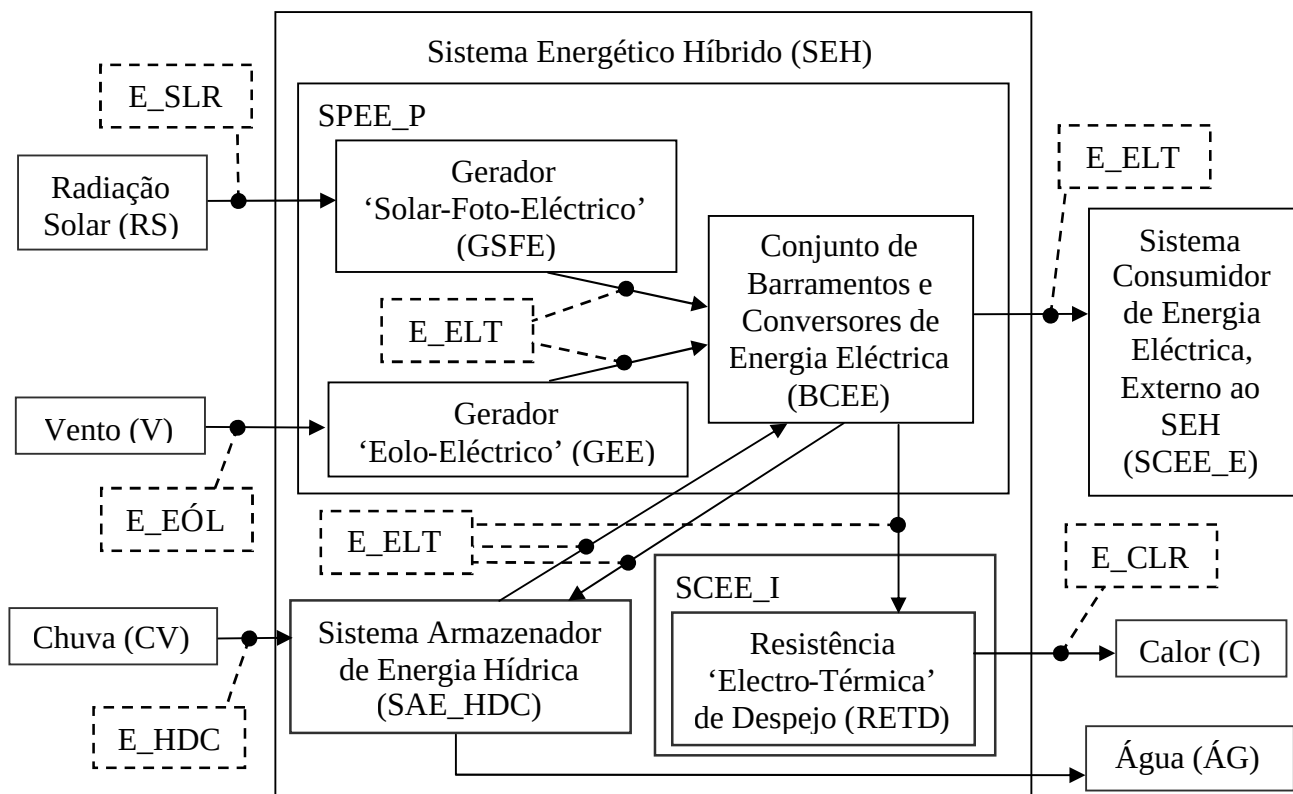


Figura 4.1: Esquema das formas-de-energia principais no SEH só com armazenamento de E_HDC

4.1.1.2 - Esquema do sistema armazenador de energia hídrica (SAE_HDC) com representação de perdas energéticas

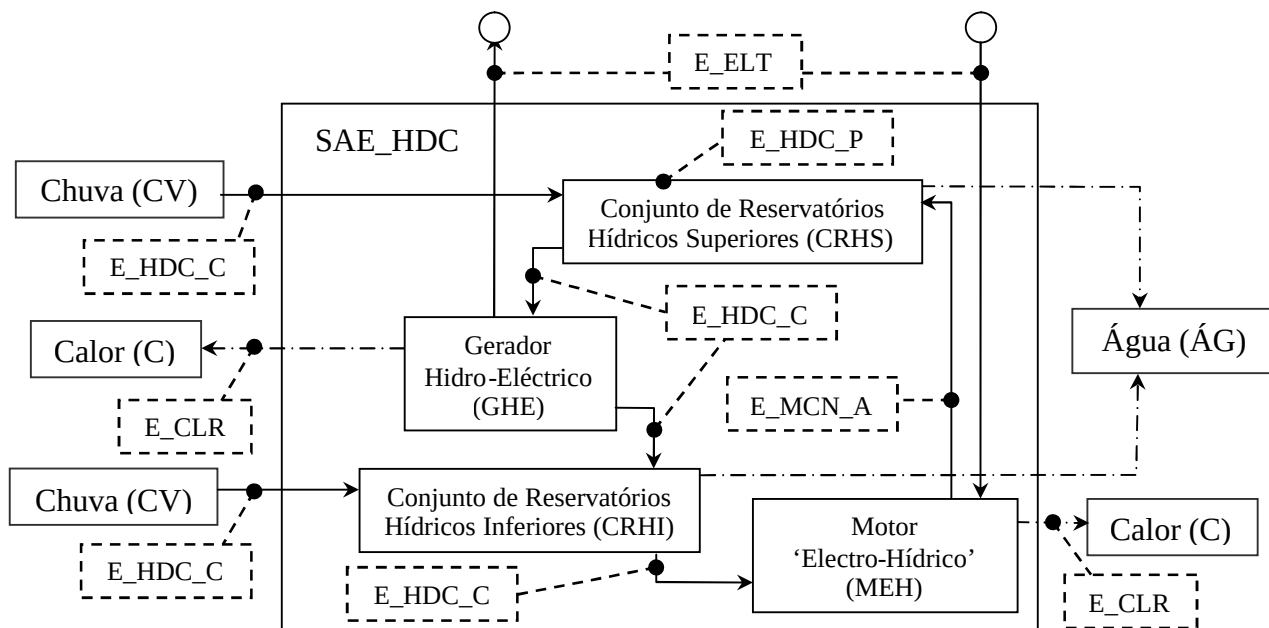


Figura 4.2: Esquema das formas-de-energia principais no SAE_HDC

4.1.2 - Esquema das formas-de-energia principais no SEH com armazenamento de energia 'electrolítica' (E_{ELO}) e de energia hídrica (E_{HDC}), sem representação de perdas energéticas

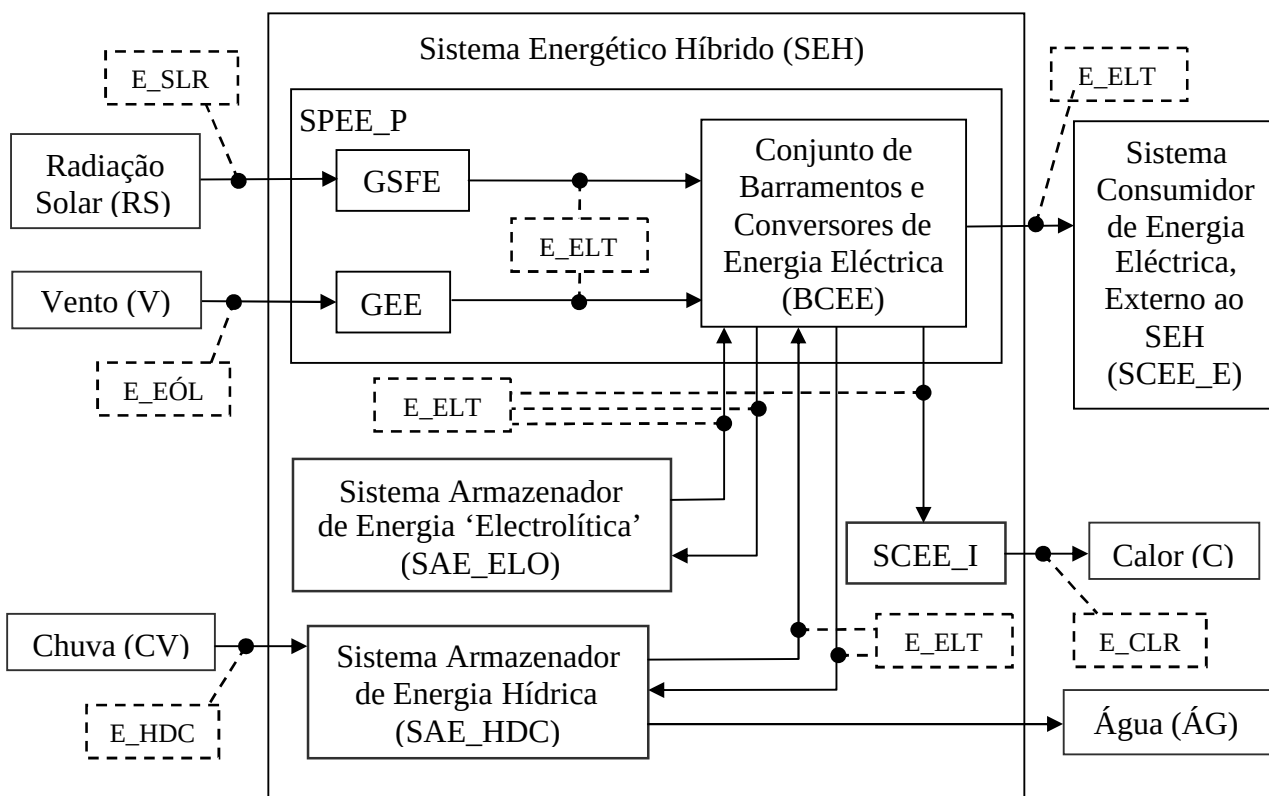


Figura 4.3: Esquema das formas-de-energia principais no SEH com armazenamento de E_{ELO} e de E_{HDC}

4.1.3 - Legenda dos esquemas

RS → radiação solar

V → vento

C → calor

CV → chvua

ÁG → água

E_SLR → energia solar

E_EÓL → energia eólica

E_ELT → energia eléctrica

E_CLR → energia calorífica, ou energia térmica superior à temperatura de referência

E_ELO → energia ‘electrolítica’, ou energia electroquímica do electrólito (das baterias)

E_HDC → energia hídrica, ou energia gravítica da água

E_HDC_C → energia hídrica cinética

E_HDC_P → energia hídrica potencial

E_MCN_A → energia mecânica da água

‘————→’ → fluxo de energia ou de uma substância

‘— . — . →’ → fluxo de energia ou de uma substância, que é perdida ou que é desperdiçada

SEH → sistema energético híbrido

SPEE_P → sistema produtor de energia eléctrica, para aproveitamento energético principal no SEH

SCEE_I → sistema consumidor de energia eléctrica, interno ao SEH

SCEE_E → sistema consumidor de energia eléctrica, externo ao SEH

SAE_ELO → sistema armazenador de energia ‘electrolítica’

SAE_HDC → sistema armazenador de energia hídrica

GEE → gerador ‘eolo-eléctrico’, ou aerogerador

GSFE → gerador ‘solar-foto-eléctrico’, ou arranjo de painéis fotovoltaicos

BCEE → conjunto de barramentos e conversores para energia eléctrica, que é um conjunto de barramentos em corrente contínua (CC) e em corrente alternada (CA), e de conversores do tipo de corrente eléctrica

RETD → resistência ‘electro-térmica’ de despejo

GHE → gerador hidro-eléctrico, ou gerador eléctrico de energia hídrica

MEH → motor ‘electro-hídrico’

CRHS → conjunto de reservatórios hídricos superiores

CRHI → conjunto de reservatórios hídricos inferiores

4.2 - Modelização do sistema energético híbrido (SEH) para a segunda expansão com armazenamento de energia ‘hidrogénica’ (E_HDG)

Para a segunda expansão do SEH existente, também se considera duas configurações de SEH, que são:

- 1) o SEH só com armazenamento de energia ‘hidrogénica’, que está representado na figura 4.4, em que ao SEH existente se retira o sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ e se acrescenta o sistema armazenador de energia ‘hidrogénica’;
- 2) o SEH com armazenamento de energia ‘electrolítica’, de energia hídrica e de energia ‘hidrogénica’, que está representado na figura 4.6, no qual se acrescenta o sistema armazenador de energia ‘hidrogénica’ à segunda configuração do SEH resultante da primeira expansão.

A primeira configuração de SEH tem duas formas-de-energia iniciais que entram no sistema, as quais são a energia solar para a radiação solar e a energia eólica para o vento. Nesta configuração, existe unicamente uma forma-de-energia para armazenamento energético que é a energia ‘hidrogénica’, a qual corresponde ao hidrogénio armazenado no respectivo reservatório. As formas-de-energia finais, que saem do SEH, são as mesmas do SEH resultante da primeira expansão.

Relativamente à primeira configuração de SEH, a segunda configuração de SEH tem mais uma forma-de-energia inicial que entra no sistema e que é a energia hídrica, e mais duas formas-de-energia para armazenamento energético que são a energia ‘electrolítica’ e a energia hídrica.

O sistema armazenador de energia ‘hidrogénica’ (SAE_HDG) está representado na figura 4.5 e é constituído por equipamento de controlo e por cinco componentes principais que são:

- o gerador eléctrico de energia ‘hidrogénica’ por processo químico (GE_HDG_Q), que também se pode designar por pilha de combustível de hidrogénio, o qual transforma energia ‘hidrogénica’ para energia eléctrica, pela reacção química do hidrogénio com o oxigénio, da qual resulta água e electricidade;
- o aparelho de electrólise da água (AEA), que se pode também designar por electrolizador, o qual transforma energia eléctrica para energia ‘hidrogénica’, pela electrólise da água que permite separar os dois átomos de hidrogénio e o átomo de oxigénio em cada molécula de água (H_2O), resultando no gás de hidrogénio (H_2) e no gás de oxigénio (O_2);
- o reservatório para gás de hidrogénio (RGH), no qual se armazena o hidrogénio proveniente do aparelho de electrólise da água, que corresponde à energia ‘hidrogénica’ a ser usada no gerador eléctrico de energia ‘hidrogénica’ por processo químico;
- o reservatório para gás de oxigénio (RGO);
- o reservatório para água (R_ÁG).

Nas transformações energéticas do gerador eléctrico de energia ‘hidrogénica’ por processo químico e do aparelho de electrólise da água, ocorrem perdas energéticas na forma de calor. Nos reservatórios, pode haver perdas das respectivas substâncias armazenadas.

4.2.1 - Esquemas das formas-de-energia principais no SEH só com armazenamento de energia ‘hidrogénica’ (E_HDG)

4.2.1.1 - Esquema do SEH sem representação de perdas energéticas

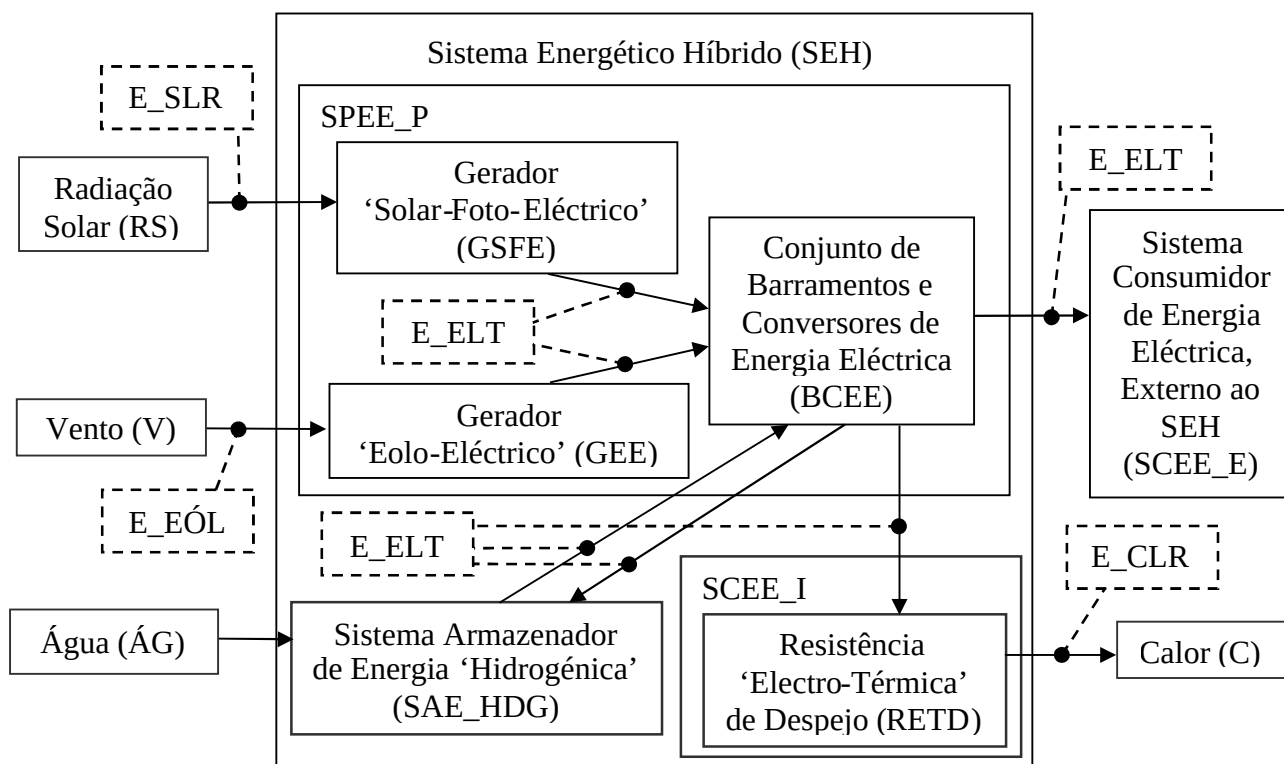


Figura 4.4: Esquema das formas-de-energia principais no SEH só com armazenamento de E_HDG

4.2.1.2 - Esquema do sistema armazenador de energia ‘hidrogénica’ (SAE_HDG) com representação de perdas energéticas

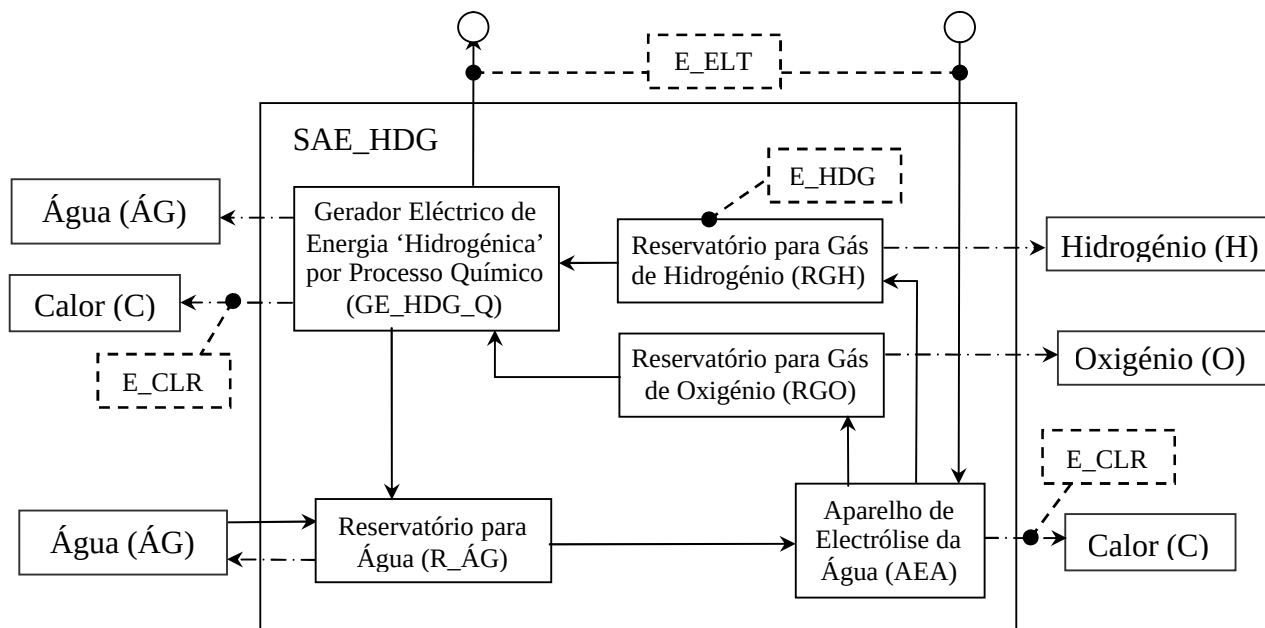


Figura 4.5: Esquema das formas-de-energia principais no SAE_HDG

4.2.2 - Esquema das formas-de-energia principais no SEH com armazenamento de energia ‘electrolítica’ (E_ELO), de energia hídrica (E_HDC) e de energia ‘hidrogénica’ (E_HDG), sem representação de perdas energéticas

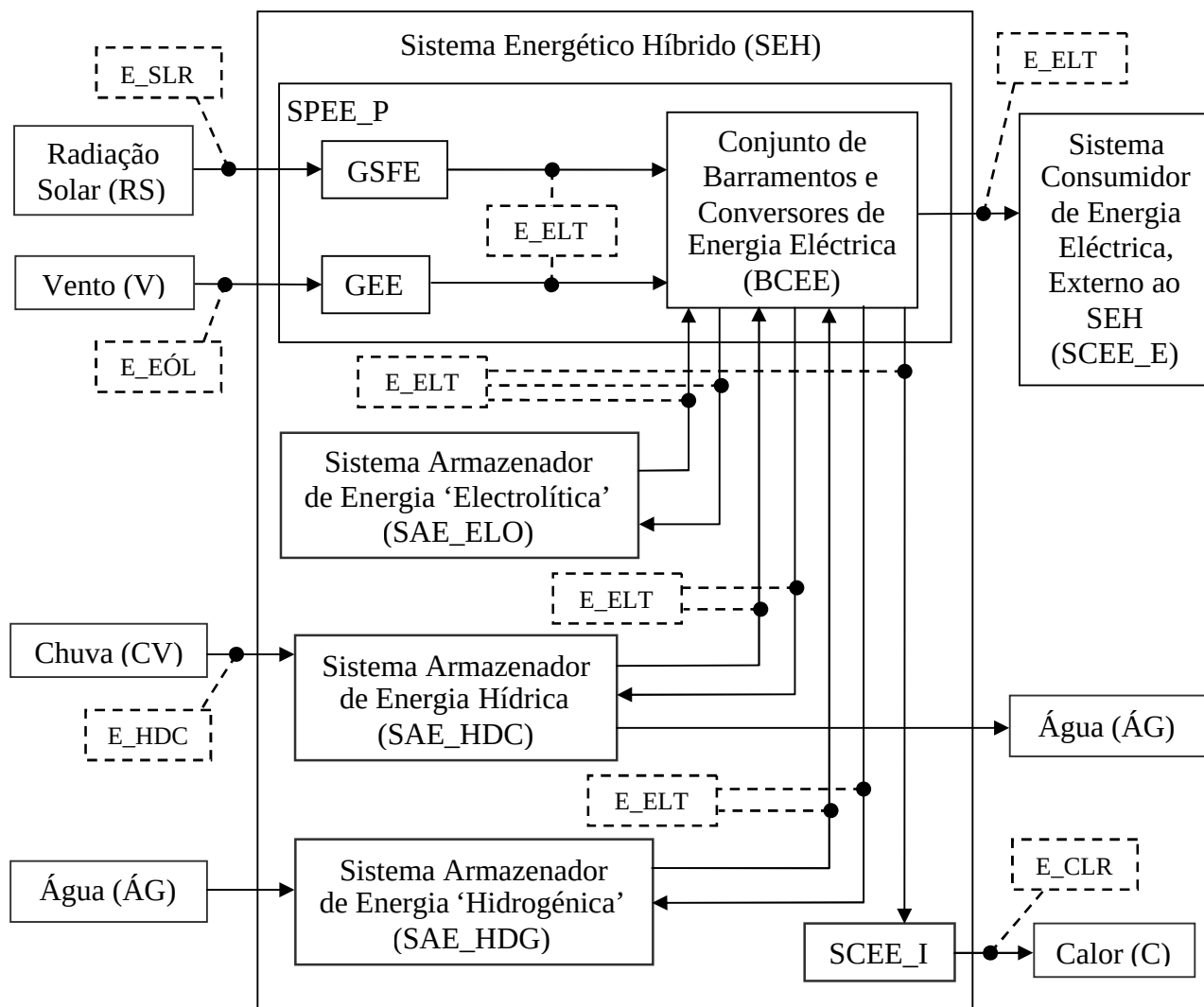


Figura 4.6: Esquema das formas-de-energia principais no SEH com armazenamento de E_ELO, de E_HDC e de E_HDG

4.2.3 - Legenda dos esquemas

RS → radiação solar

V → vento

C → calor

CV → chvea

ÁG → água

H → (gás de) hidrogénio

O → (gás de) oxigénio

E_SLR → energia solar

E_EÓL → energia eólica

E_ELT → energia eléctrica

E_CLR → energia calorífica, ou energia térmica superior à temperatura de referência

E_ELO → energia ‘electrolítica’, ou energia electroquímica do electrólito (das baterias)

E_HDC → energia hídrica, ou energia gravítica da água

E_HDG → energia ‘hidrogénica’, ou energia química do (gás de) hidrogénio

‘—————>’ → fluxo de energia ou de uma substância

‘— · — · —>’ → fluxo de energia ou de uma substância, que é perdida ou que é desperdiçada

SEH → sistema energético híbrido

SPEE_P → sistema produtor de energia eléctrica, para aproveitamento energético principal no SEH

SCEE_I → sistema consumidor de energia eléctrica, interno ao SEH

SCEE_E → sistema consumidor de energia eléctrica, externo ao SEH

SAE_ELO → sistema armazenador de energia ‘electrolítica’

SAE_HDC → sistema armazenador de energia hídrica

SAE_HDG → sistema armazenador de energia ‘hidrogénica’

GEE → gerador ‘eolo-eléctrico’, ou aerogerador

GSFE → gerador ‘solar-foto-eléctrico’, ou arranjo de painéis fotovoltaicos

BCEE → conjunto de barramentos e conversores para energia eléctrica, que é um conjunto de barramentos em corrente contínua (CC) e em corrente alternada (CA), e de conversores do tipo de corrente eléctrica

RETD → resistência ‘electro-térmica’ de despejo

GE_HDG_Q → gerador eléctrico de energia ‘hidrogénica’ por processo químico, ou pilha de combustível de hidrogénio

AEA → aparelho de electrólise da água, ou electrolizador

RGH → reservatório para gás de hidrogénio

RGO → reservatório para gás de oxigénio

R_ÁG → reservatório para água

Capítulo 5 - Realização de algoritmos para gestão e controlo de um SEH

5.1 - Estudo da gestão operacional diária de um SEH só com armazenamento de energia ‘electrolítica’ (E_ELO)

5.1.1 - Esquema das formas-de-energia principais no SEH

As formas energéticas principais no sistema energético híbrido (SEH), que é apresentado no esquema da figura 5.1, são:

- de entrada: a energia solar e a energia eólica;
- de armazenamento energético: a energia ‘electrolítica’;
- de saída útil: a energia eléctrica.

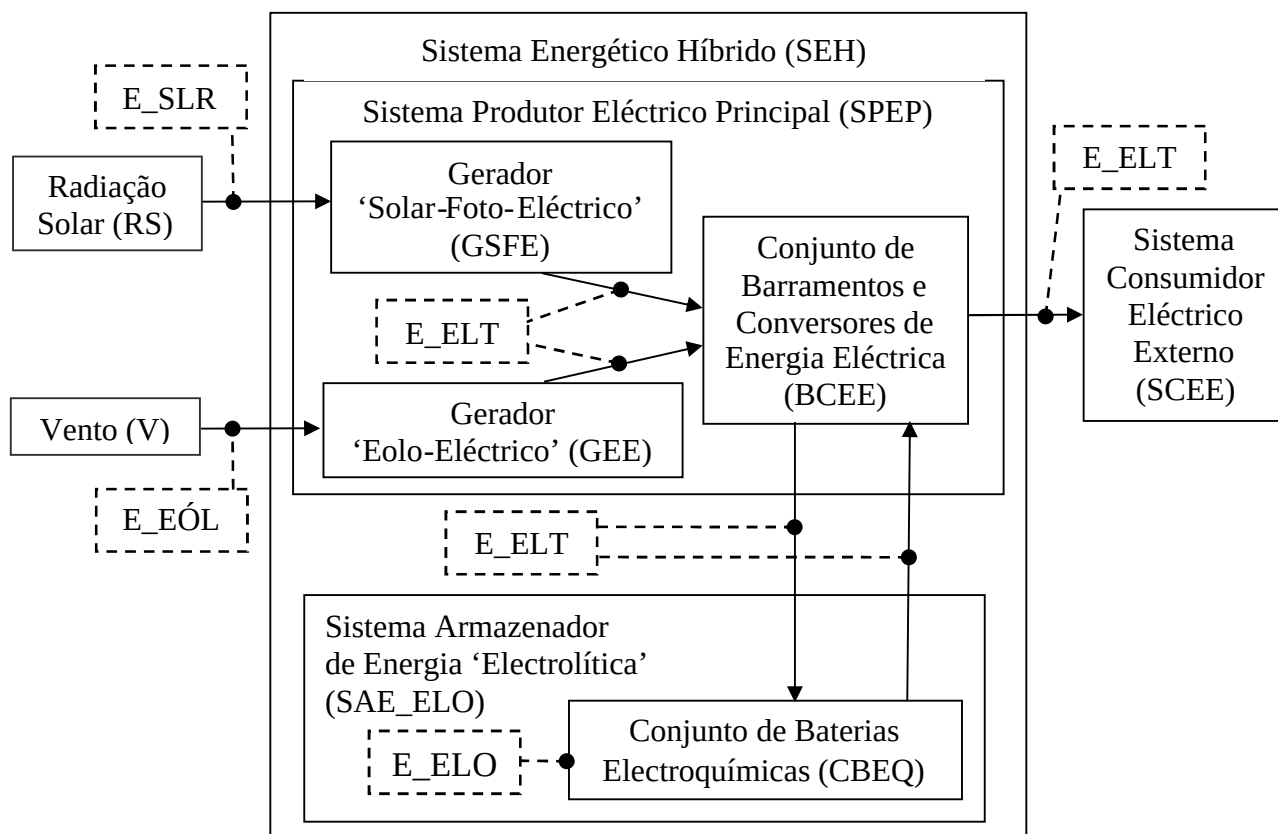


Figura 5.1: Esquema das formas-de-energia principais no SEH só com armazenamento de E_ELO

Legenda:

- E_SLR → energia solar
- E_EÓL → energia eólica
- E_ELT → energia eléctrica
- E_ELO → energia ‘electrolítica’, ou energia electroquímica do electrólito

5.1.2 - Esquema dos componentes principais no sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ (SAE_ELO)

O sistema armazenador de energia ‘electrolítica’, que está representado na figura 5.2, é constituído por um conjunto de baterias electroquímicas e por equipamento de controlo dessas baterias, e permite armazenar energia na forma de energia ‘electrolítica’.

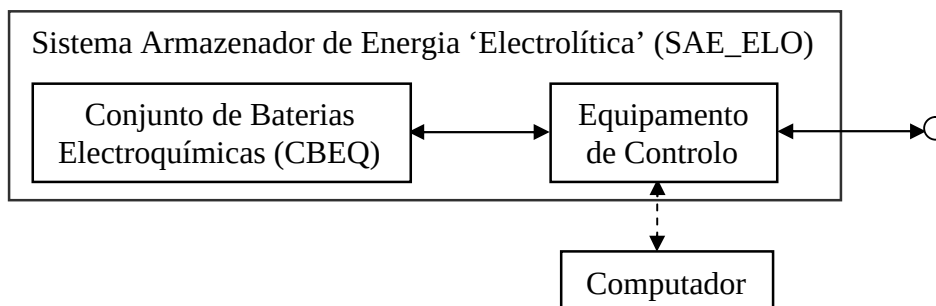


Figura 5.2: Esquema dos componentes principais no SAE_ELO

Legenda:

‘—————>’ → fluxo de energia
 ‘----->’ → fluxo de informação

O conjunto de baterias electroquímicas permite converter energia eléctrica em energia ‘electrolítica’ na fase de carregamento, armazenar energia ‘electrolítica’, e converter energia ‘electrolítica’ em energia eléctrica na fase de descarregamento.

O equipamento de controlo serve para limitar o carregamento do conjunto de baterias electroquímicas não deixando ir acima do limite máximo de armazenamento energético e também o descarregamento não deixando ir abaixo do limite mínimo. Neste equipamento de controlo, pode também haver dispositivos medidores dos fluxos de energia eléctrica que entram e que saem no conjunto de baterias electroquímicas, e da quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada. A informação obtida dos dispositivos medidores pode ser enviada para um computador no qual se faz a gestão do sistema energético híbrido.

5.1.3 - Algoritmos simplificados para gestão e controlo do sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ (SAE_ELO)

5.1.3.1 - Em linguagem informal

O algoritmo simplificado em linguagem informal, que permite gerir e controlar o sistema armazenador de energia ‘electrolítica’, tem as seguintes instruções:

- 1) Calcular a produção eléctrica de todos os geradores eléctricos do SPEP, os quais são o GSFE e o GEE, e atribuir o resultado a P1.
- 2) Se P1 é maior do que o consumo eléctrico do SCEE, então verificar se a quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada é menor do que o limite máximo de armazenamento energético no CBEQ, e se o valor lógico da condição for verdadeiro então carregar o CBEQ, não indo acima do limite máximo de armazenamento energético no CBEQ.
- 3) Se P1 é menor do que o consumo eléctrico do SCEE, então verificar se a quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada é maior do que o limite mínimo de armazenamento energético no CBEQ, e se o valor lógico da condição for verdadeiro então descarregar o CBEQ, não indo abaixo do limite mínimo de armazenamento energético no CBEQ.

5.1.3.2 - Em fluxograma

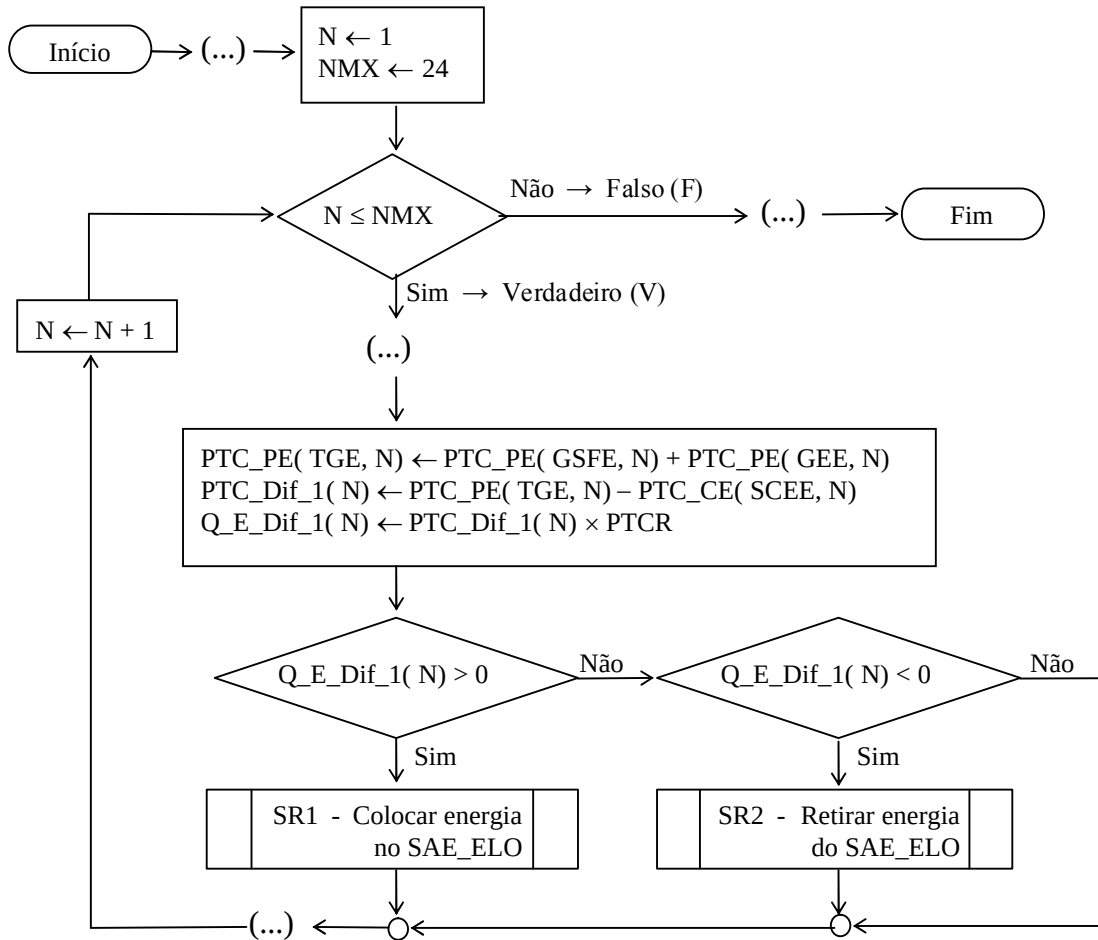


Figura 5.3: Fluxograma da rotina principal para o uso do SAE_ELO

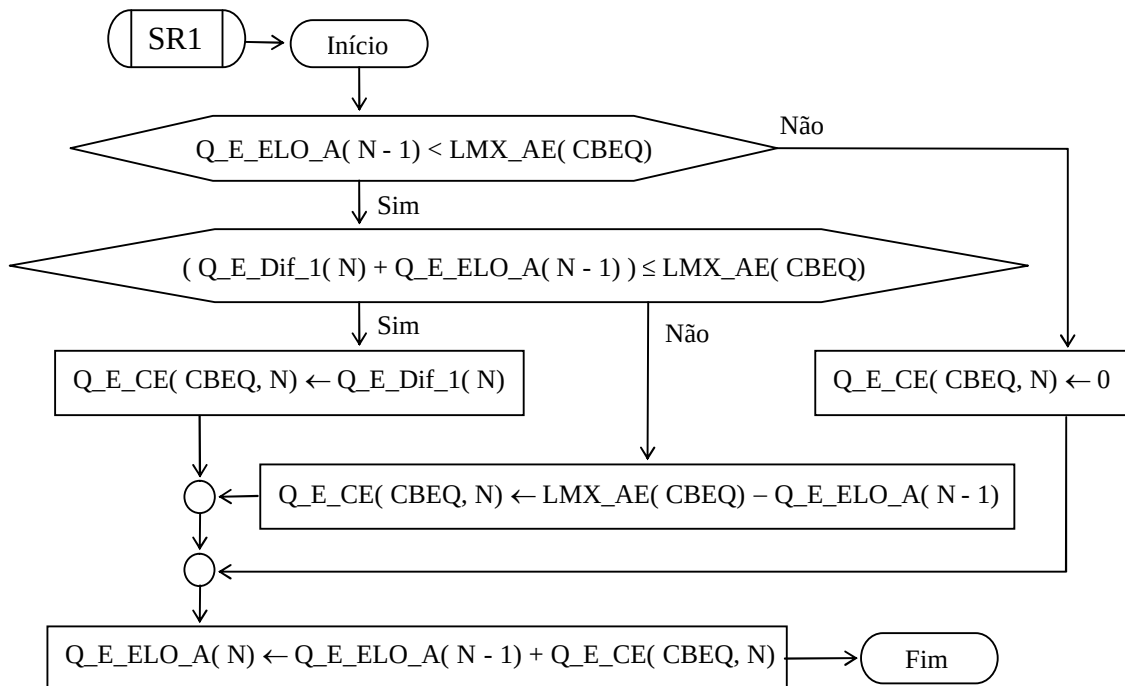


Figura 5.4: Fluxograma da sub-rotina 1 para colocar energia no SAE_ELO

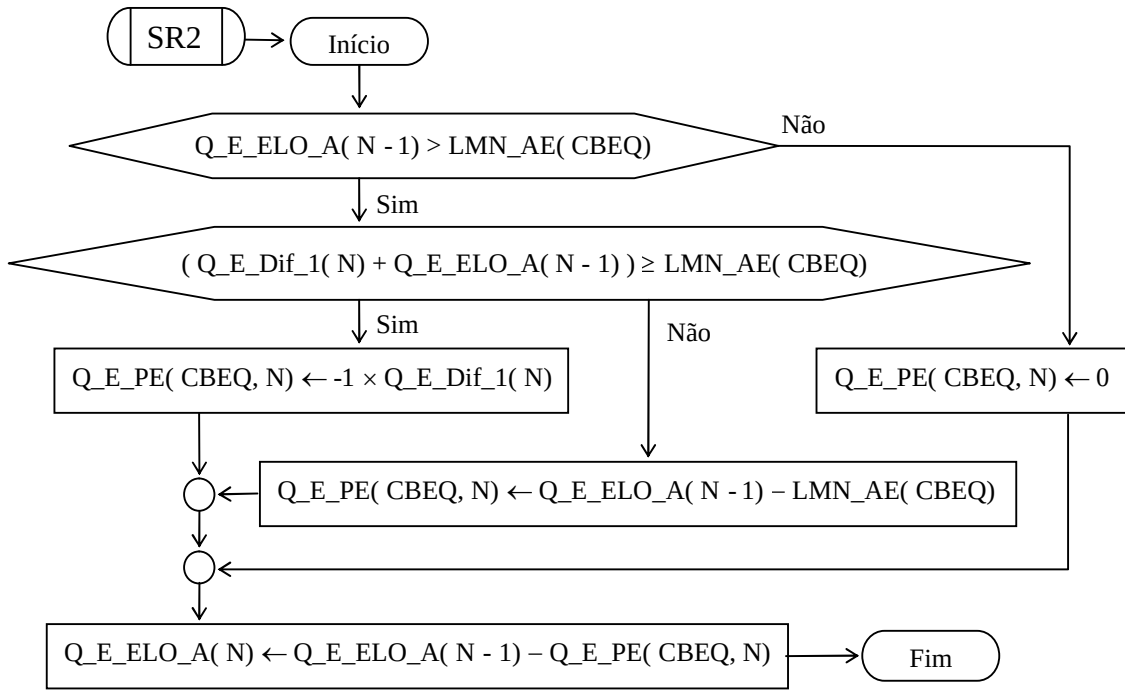


Figura 5.5: Fluxograma da sub-rotina 2 para retirar energia do SAE_ELO

Legenda:

- $N \rightarrow$ número do período de tempo horário (PTH) elementar
- $NMX \rightarrow$ número máximo de períodos de tempo horários elementares
- $PTC_PE(TGE, N) \rightarrow$ potência da produção eléctrica de todos os geradores eléctricos do sistema produtor eléctrico principal (SPEP) em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$), expressa em "Watt" [W]
- $PTC_PE(GSFE, N) \rightarrow$ potência da produção eléctrica do gerador 'solar-foto-eléctrico' (GSFE) em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$), expressa em "Watt" [W]
- $PTC_PE(GEE, N) \rightarrow$ potência da produção eléctrica do gerador 'eolo-eléctrico' (GEE) em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$), expressa em "Watt" [W]
- $PTC_CE(SCEE, N) \rightarrow$ potência do consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo (SCEE) em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$), expressa em "Watt" [W]
- $PTC_Dif_1(N) \rightarrow$ potência da diferença entre $PTC_PE(TGE, N)$ e $PTC_CE(SCEE, N)$, expressa em "Watt" [W]
- $Q_E_Dif_1(N) \rightarrow$ quantidade de energia correspondente à diferença entre $PTC_PE(TGE, N)$ e $PTC_CE(SCEE, N)$, expressa em "Watt"-hora [W.h]
- $PTCR \rightarrow$ passo de tempo cronológico, expresso em hora [h]
- $LMX_AE(CBEQ) \rightarrow$ limite máximo de armazenamento energético no conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), expresso em "Watt"-hora [W.h]
- $LMN_AE(CBEQ) \rightarrow$ limite mínimo de armazenamento energético no conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), expresso em "Watt"-hora [W.h]
- $Q_E_PE(CBEQ, N) \rightarrow$ quantidade de energia da produção eléctrica no conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$), expressa em "Watt"-hora [W.h]
- $Q_E_CE(CBEQ, N) \rightarrow$ quantidade de energia do consumo eléctrico no conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$), expressa em "Watt"-hora [W.h]

$Q_E_ELO_A(N - 1) \rightarrow$ quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), em função do tempo cronológico discreto no período anterior ($t \in PTH(N - 1)$), expressa em "Watt"-hora [W.h]

$Q_E_ELO_A(N) \rightarrow$ quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada no conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), em função do tempo cronológico discreto no período actual ($t \in PTH(N)$), expressa em "Watt"-hora [W.h]

Os algoritmos simplificados em fluxograma, que permitem gerir e controlar o sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ (SAE_ELO), representam o fluxo de execução de acções:

- numa parte da rotina principal, relativa ao SAE_ELO, para o funcionamento diário do sistema energético híbrido (figura 5.3);
- na sub-rotina 1 para colocar energia no SAE_ELO (figura 5.4);
- na sub-rotina 2 para retirar energia do SAE_ELO (figura 5.5).

5.1.4 - Implementação em folhas-de-cálculo do programa “Excel”

A simulação da gestão operacional do sistema energético híbrido foi implementada em folhas-de-cálculo do programa “Excel” para o período de tempo de um dia.

As folhas-de-cálculo principais são:

- dados gerais para os dispositivos do sistema energético híbrido e para outros parâmetros;
- dados para os parâmetros do tempo climático e para o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo;
- dados específicos para os dispositivos produtores de energia eléctrica do sistema produtor eléctrico principal em relação aos parâmetros do tempo climático;
- cálculo das disponibilidades de recursos energéticos, das produções eléctricas e dos rendimentos energéticos para cada dispositivo produtor de energia eléctrica do sistema produtor eléctrico principal;
- cálculo e comparação das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos nos componentes do sistema energético híbrido e no sistema consumidor eléctrico externo;
- comparação entre o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo e as produções eléctricas dos dispositivos produtores de energia eléctrica, do conjunto de baterias electroquímicas e do sistema energético híbrido;
- resultados em gráficos com os parâmetros referentes ao aproveitamento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica do sistema produtor eléctrico principal;
- resultados em gráficos com as produções eléctricas, os consumos eléctricos e os armazenamentos energéticos nos componentes do sistema energético híbrido e no sistema consumidor eléctrico externo;
- resultados em gráficos com a comparação entre o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo e as produções eléctricas dos dispositivos produtores de energia eléctrica, do conjunto de baterias electroquímicas e do sistema energético híbrido.

5.1.5 - Dados e resultados da gestão operacional diária

Para a gestão operacional diária, considerou-se dois sistemas energéticos híbridos em que um sistema energético híbrido tem componentes arbitrários e o outro sistema energético híbrido tem componentes iguais aos existentes no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Em ambos os sistemas energéticos híbridos, foi feita a simulação de duas configurações de sistema energético híbrido, tendo uma delas o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ com ligação directa ao conjunto de baterias electroquímicas, e na outra configuração, o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ tem uma ligação indirecta ao conjunto de baterias electroquímicas através de um seguidor do ponto de potência máxima (SPPM $\leftarrow$ (P,I) — "MPPT").

5.1.5.1 - SEH com componentes arbitrários

Os dados dos parâmetros gerais dos dispositivos produtores de energia eléctrica são:

1) para o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE):

- 1.1) marca e modelo do painel fotovoltaico (PFV): (“Alfasolar”; 160P);
- 1.2) número de painéis fotovoltaicos (PFV’s): 4;
- 1.3) potência máxima de produção eléctrica de um PFV: 160 [W];
- 1.4) potência máxima de produção eléctrica do GSFE: 640 [W];
- 1.5) inclinação dos PFV’s em relação ao plano horizontal do local: 41,000 [°];
- 1.6) ângulo de azimute do plano dos PFV’s: 0,000 [°];
- 1.7) tensão eléctrica de circuito-aberto: 21,420 [V];
- 1.8) intensidade de corrente eléctrica de curto-circuito: 9,960 [A];
- 1.9) tensão eléctrica no ponto de potência máxima: 17,820 [V];
- 1.10) intensidade de corrente eléctrica no ponto de potência máxima: 8,980 [A];
- 1.11) coeficiente de temperatura da intensidade de corrente eléctrica de curto-circuito, em percentagem: 0,050 [% / °C];
- 1.12) coeficiente de temperatura da tensão eléctrica de circuito-aberto, em percentagem: -0,330 [% / °C];
- 1.13) coeficiente de temperatura da potência eléctrica máxima, em percentagem: -0,045 [% / °C];
- 1.14) coeficiente de temperatura da tensão eléctrica no ponto de potência máxima, em percentagem: 0,330 [% / °C];
- 1.15) coeficiente de temperatura da intensidade de corrente eléctrica no ponto de potência máxima, em percentagem: 0,050 [% / °C];
- 1.16) temperatura de célula em funcionamento nominal (ou normal): TCFN = "NOCT" = 42,000 [°C] $\pm$ 2 [°C];
- 1.17) 'longura' (ou comprimento) de um PFV: 1.580 [mm];
- 1.18) largura de um PFV: 800 [mm];
- 1.19) área de um PFV: 1,264 [m²].

2) para o gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE):

- 2.1) potência máxima de produção eléctrica do GEE: 1.000 [W];
- 2.2) área de varrimento da turbina eólica: 7,65 [m²].

Os dados dos parâmetros gerais para o conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ) são:

- 1) número de baterias electroquímicas: 10;
- 2) limite mínimo de armazenamento energético no CBEQ: 37.800 [W.h];
- 3) limite máximo de armazenamento energético no CBEQ: 126.000 [W.h]
- 4) quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada, no CBEQ, no instante de tempo inicial para a simulação: $Q_{E_ELO_A}(t_0) = 40.000$ [W.h];

5) tensão eléctrica nominal no CBEQ: 12 [V].

A potência de limite máximo de consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo é 3.000 [W].

Os dados, para os parâmetros gerais da simulação da gestão operacional, são:

- 1) passo de tempo cronológico: $PTCR = 1,000$ [h] = 60 [min];
- 2) duração do período de tempo a ser simulado: 24 [h] = 1 [dia].

Na seguinte tabela 5.1, apresenta-se os dados estimados dos parâmetros do tempo climático, em valor médio, para os 24 períodos de tempo horários de um dia, e esses parâmetros são:

- a intensidade da radiação solar global ($I_{RS_G}(t)$);
- a temperatura do ar ($T_{AR}(t)$);
- a velocidade do vento ($VV(t)$).

Também se apresenta os dados em valor médio da potência de consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo ($CE(SCEE, t) = PTC_CE(SCEE, t)$).

NPTH	PTH_F1		PTH_F2		I_RS_G(t)	T_AR(t)	VV(t)	CE(SCEE, t)
	[ITI_F1; ITF_F1[		[ITI_F2; ITF_F2[					
	ITI_F1	ITF_F1	ITI_F2	ITF_F2				
	[h]	[h]	[hor]:[min]	[hor]:[min]				
1	0,000	1,000	00:00	01:00	0,000	14,8	8,769	100
2	1,000	2,000	01:00	02:00	0,000	14,8	12,000	100
3	2,000	3,000	02:00	03:00	0,000	14,8	7,000	0
4	3,000	4,000	03:00	04:00	0,000	14,8	5,333	0
5	4,000	5,000	04:00	05:00	0,000	14,8	1,500	0
6	5,000	6,000	05:00	06:00	0,000	14,8	0,000	500
7	6,000	7,000	06:00	07:00	29,709	15,0	0,000	1.000
8	7,000	8,000	07:00	08:00	120,095	15,7	1,000	1.500
9	8,000	9,000	08:00	09:00	266,863	17,4	5,333	2.000
10	9,000	10,000	09:00	10:00	453,565	20,4	5,667	1.000
11	10,000	11,000	10:00	11:00	653,326	25,2	4,000	1.000
12	11,000	12,000	11:00	12:00	832,637	29,5	1,000	1.500
13	12,000	13,000	12:00	13:00	958,964	32,6	0,000	1.000
14	13,000	14,000	13:00	14:00	1.008,415	33,8	1,000	750
15	14,000	15,000	14:00	15:00	971,458	32,9	3,000	500
16	15,000	16,000	15:00	16:00	855,226	30,1	5,000	100
17	16,000	17,000	16:00	17:00	681,790	25,9	5,667	0
18	17,000	18,000	17:00	18:00	482,868	21,2	4,000	1.000
19	18,000	19,000	18:00	19:00	292,327	19,0	3,000	2.000
20	19,000	20,000	19:00	20:00	138,437	15,9	1,500	2.500
21	20,000	21,000	20:00	21:00	37,847	15,1	3,000	3.000
22	21,000	22,000	21:00	22:00	1,043	14,8	5,333	2.500
23	22,000	23,000	22:00	23:00	0,000	14,8	8,000	1.500
24	23,000	24,000	23:00	00:00	0,000	14,8	10,000	500

Tabela 5.1: Dados para os parâmetros do tempo climático e para o consumo eléctrico do SCEE

A tabela 5.2 contém os resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no interior do sistema energético híbrido, e a produção eléctrica fornecida para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo bem como a diferença entre estes dois parâmetros.

NPTH	PTC_PE(GSFE, t)	PTC_PE(GEE, t)	PTC_PE(CBEQ, t)	PTC_PE_1 (SEH, t)	PTC_CE(CBEQ, t)	Q_E_AE(CBEQ, t)	PTC_PE_2 (SEH, t)	PTC_Dif_2 (t)
	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W.h]	[W]	[W]
1	0	750	0	750	650	40.650	100	0
2	0	1.000	0	1.000	900	41.550	100	0
3	0	500	0	500	500	42.050	0	0
4	0	250	0	250	250	42.300	0	0
5	0	0	0	0	0	42.300	0	0
6	0	0	500	500	0	41.800	500	0
7	6	0	994	1.000	0	40.806	1.000	0
8	47	0	1.453	1.500	0	39.353	1.500	0
9	136	250	1.553	1.939	0	37.800	1.939	-61
10	258	300	0	558	0	37.800	558	-442
11	390	100	0	490	0	37.800	490	-510
12	494	0	0	494	0	37.800	494	-1.006
13	548	0	0	548	0	37.800	548	-452
14	562	0	0	562	0	37.800	562	-188
15	552	50	0	602	102	37.902	500	0
16	505	200	0	705	605	38.507	100	0
17	407	300	0	707	707	39.214	0	0
18	278	100	622	1.000	0	38.592	1.000	0
19	153	50	792	995	0	37.800	995	-1.005
20	57	0	0	57	0	37.800	57	-2.443
21	15	50	0	65	0	37.800	65	-2.935
22	5	250	0	255	0	37.800	255	-2.245
23	0	650	0	650	0	37.800	650	-850
24	0	900	0	900	400	38.200	500	0

Tabela 5.2: Resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no SEH sem SPPM

Legenda dos parâmetros da tabela 5.2:

NPTH → número do período de tempo horário (PTH) elementar, $t \in \text{PTH}(\text{NPTH})$

PTC_PE(GSFE, t) → potência da produção eléctrica do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE), em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt" [W]

PTC_ELTP(GSFE, t) → potência eléctrica produzida pelo gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE), em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt" [W]

$$\text{PTC_PE}(\text{GSFE}, t) = \text{PTC_ELTP}(\text{GSFE}, t)$$

PTC_PE(GEE, t) → potência da produção eléctrica do gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE), em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt" [W]

$$\text{PTC_PE}(\text{GEE}, t) = \text{PTC_ELTP}(\text{GEE}, t)$$

PTC_PE(CBEQ, t) → potência da produção eléctrica no conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt" [W]

$$PTC_PE(CBEQ, t) = PTC_ELT_P(CBEQ, t)$$

PTC_CE(CBEQ, t) → potência do consumo eléctrico no conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt" [W]

PTC_ELTC(CBEQ, t) → potência eléctrica consumida pelo conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt" [W]

$$PTC_CE(CBEQ, t) = PTC_ELT_C(CBEQ, t)$$

Q_E_AE(CBEQ, t) → quantidade de energia do armazenamento energético no conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt"-hora [W.h]

Q_E_ELO_A(t) → quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt"-hora [W.h]

$$Q_E_AE(CBEQ, t) = Q_E_ELO_A(t)$$

PTC_PE_1(SEH, t) → potência da produção eléctrica, de índice 1 (ou total), no sistema energético híbrido (SEH), em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt" [W]

$$PTC_PE_1(SEH, t) = PTC_ELT_P_1(SEH, t)$$

PTC_PE_2(SEH, t) → potência da produção eléctrica, de índice 2 (ou fornecida ao exterior), no sistema energético híbrido (SEH), em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt" [W]

$$PTC_PE_2(SEH, t) = PTC_ELT_P_2(SEH, t)$$

PTC_CE(SCEE, t) → potência do consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo (SCEE), em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt" [W]

$$PTC_CE(SCEE, t) = PTC_ELT_C(SCEE, t)$$

PTC_Dif_2(t) → potência da diferença entre PTC_PE_2(SEH, t) e PTC_CE(SCEE, t), expressa em "Watt" [W]

Para o aproveitamento energético do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ e do gerador ‘eolo-eléctrico’, são mostrados os gráficos de dados que têm os identificadores numéricos 5.1, 5.2, 5.3, 5.7 e 5.8, e os gráficos de resultados que têm os identificadores numéricos desde 5.4 até 5.6 e desde 5.9 até 5.12.

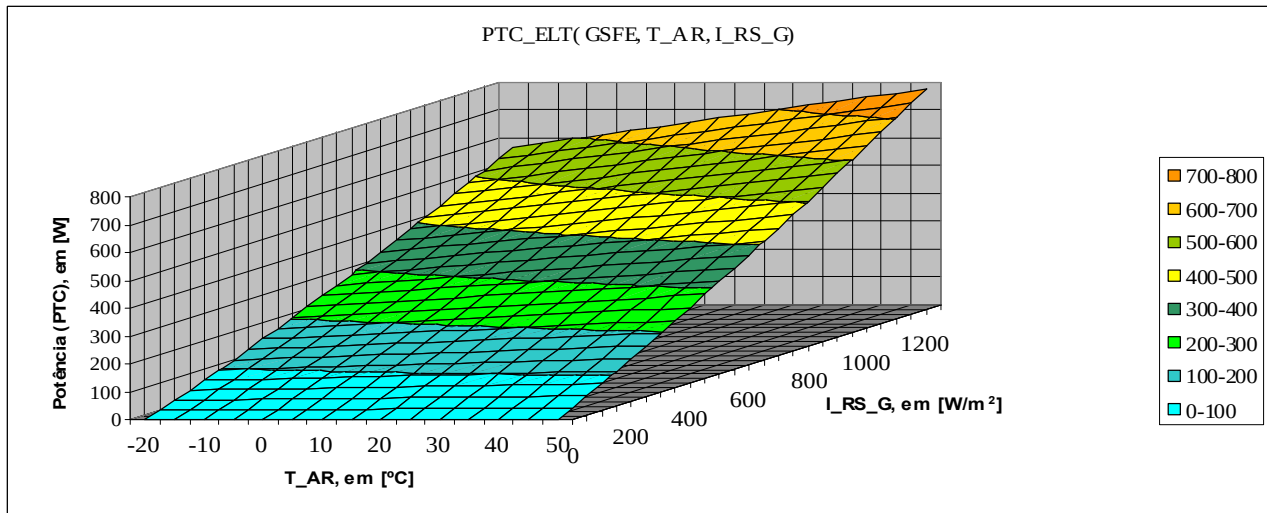


Gráfico 5.1: Valores da potência eléctrica do GSFE em função da temperatura do ar (T_{AR}) e da intensidade de radiação solar global (I_{RS_G}), considerando que I_{RS_G} incidente num plano horizontal é aproximadamente igual à I_{RS_G} incidente no plano dos painéis fotovoltaicos

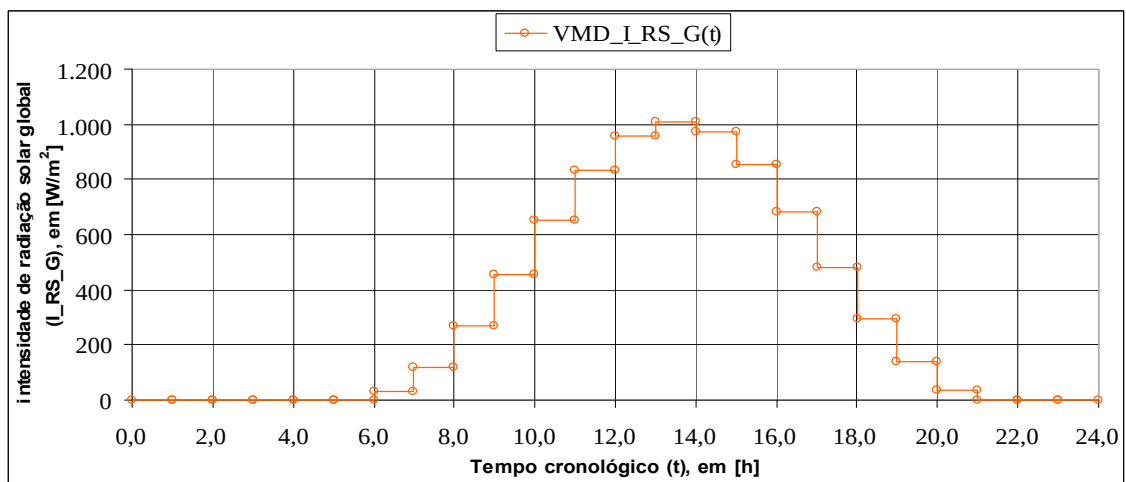


Gráfico 5.2: Valores médios da intensidade de radiação solar global (I_{RS_G}), em função do tempo cronológico

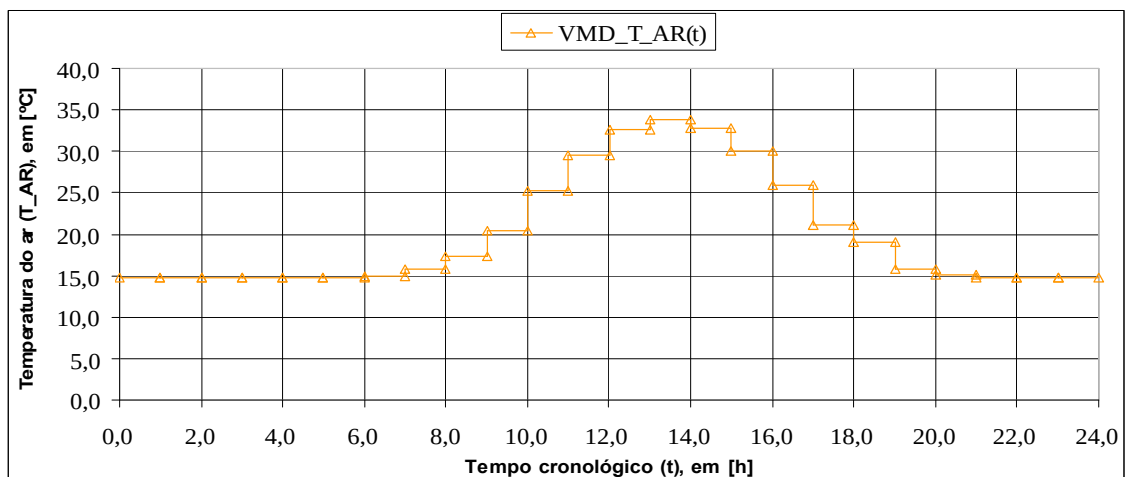


Gráfico 5.3: Valores médios da temperatura do ar (T_{AR}), em função do tempo cronológico

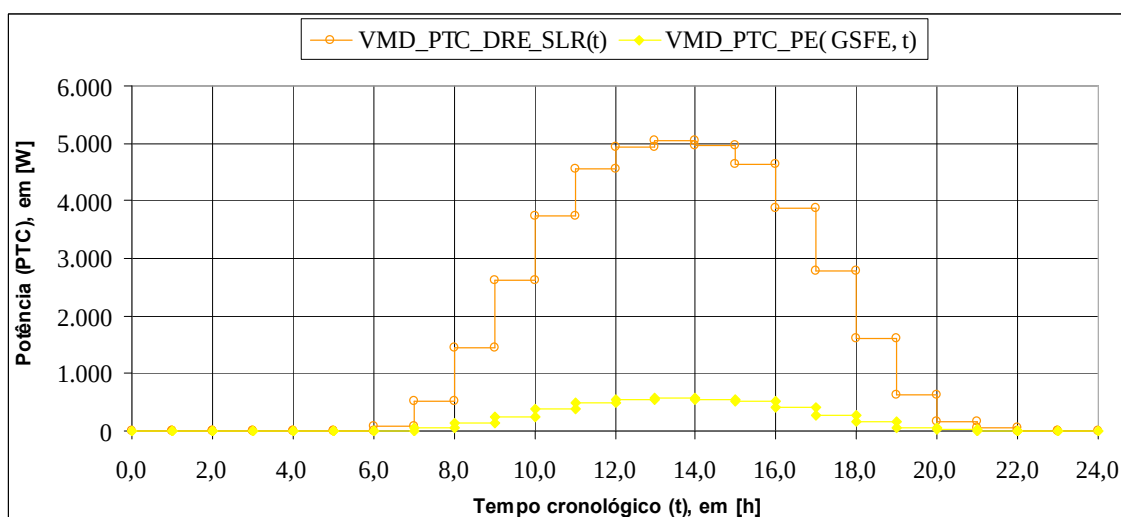


Gráfico 5.4: Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético solar e da potência de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico

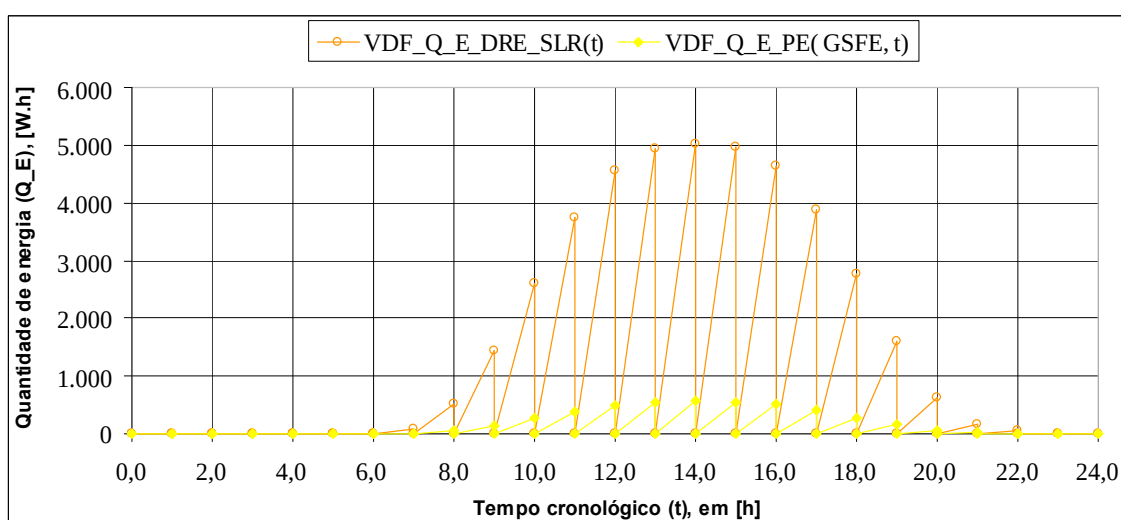


Gráfico 5.5: Valores diferenciais da quantidade de energia de disponibilidade do recurso energético solar e da quantidade de energia de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico

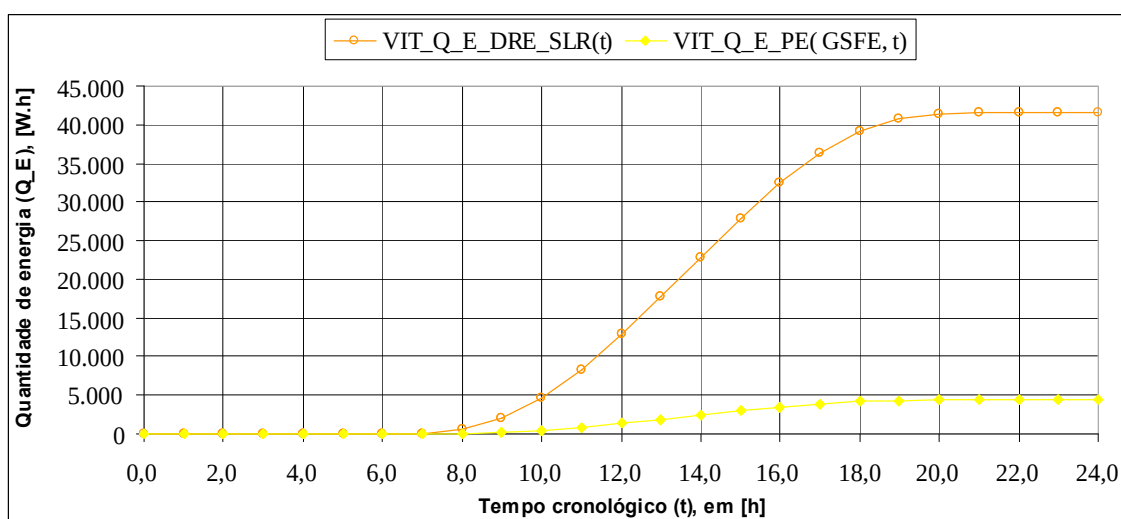


Gráfico 5.6: Valores integrativos da quantidade de energia de disponibilidade do recurso energético solar e da quantidade de energia de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico

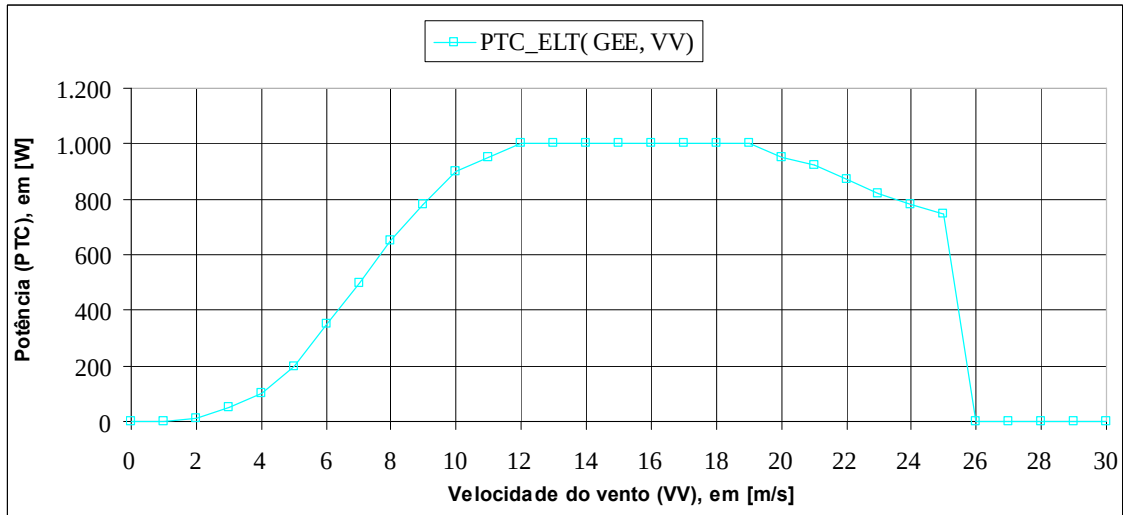


Gráfico 5.7: Valores da potência eléctrica do GEE em função da velocidade do vento (VV)

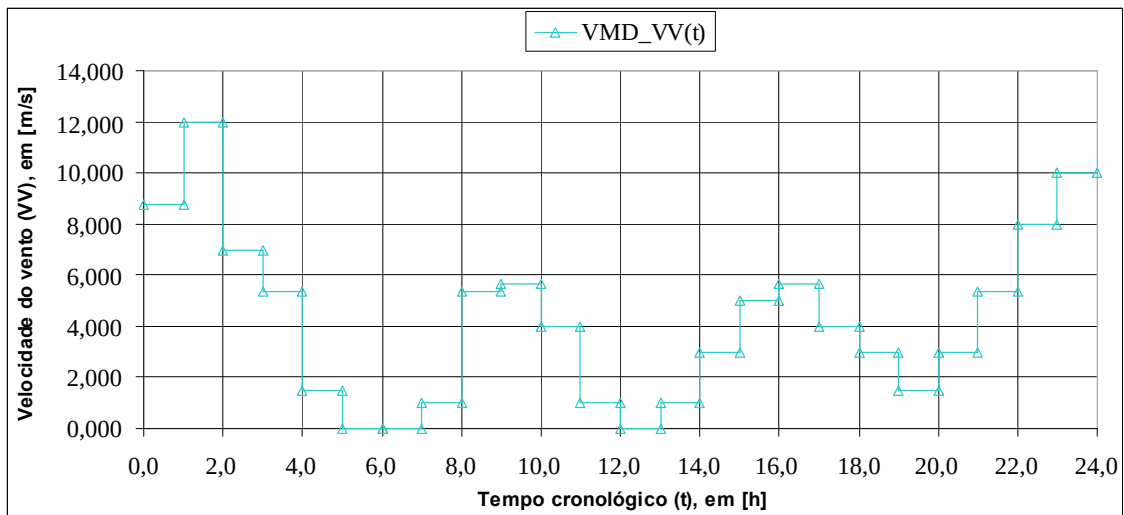


Gráfico 5.8: Valores médios da velocidade do vento (VV), em função do tempo cronológico

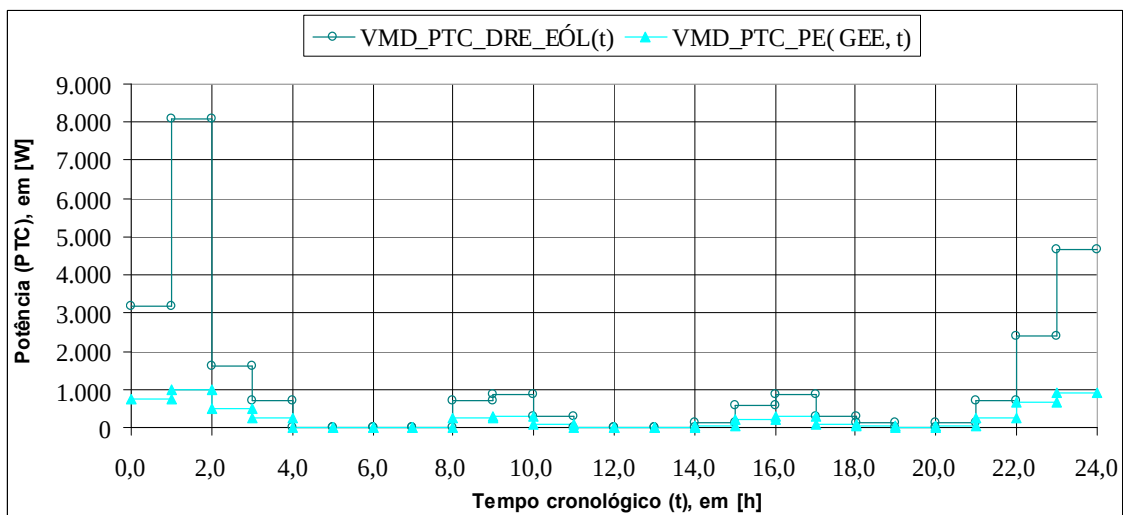


Gráfico 5.9: Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético eólico e da potência de produção eléctrica do GEE, em função do tempo cronológico

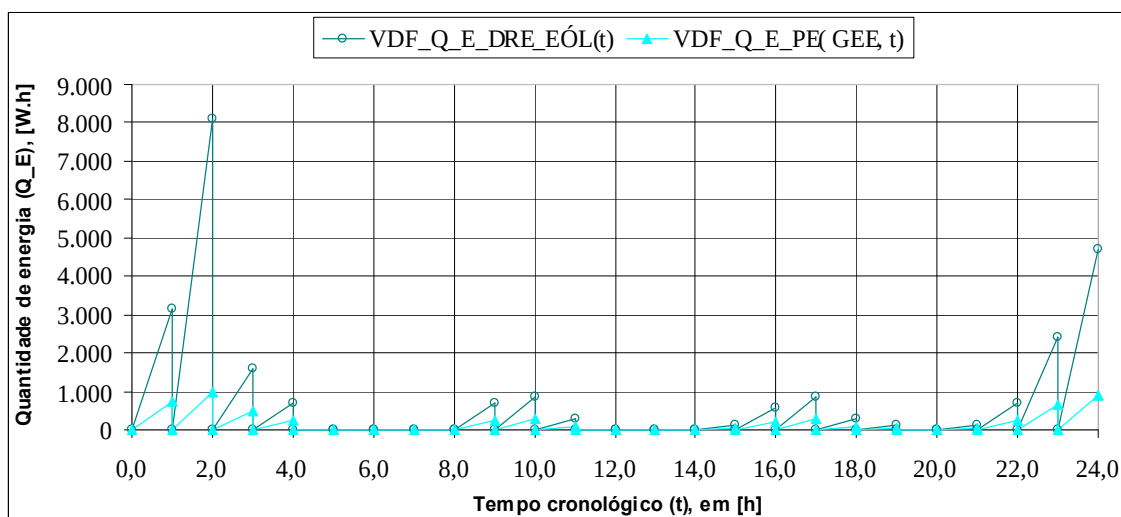


Gráfico 5.10: Valores diferenciais da quantidade de energia de disponibilidade do recurso energético eólico e da quantidade de energia de produção eléctrica do GEE, em função do tempo cronológico

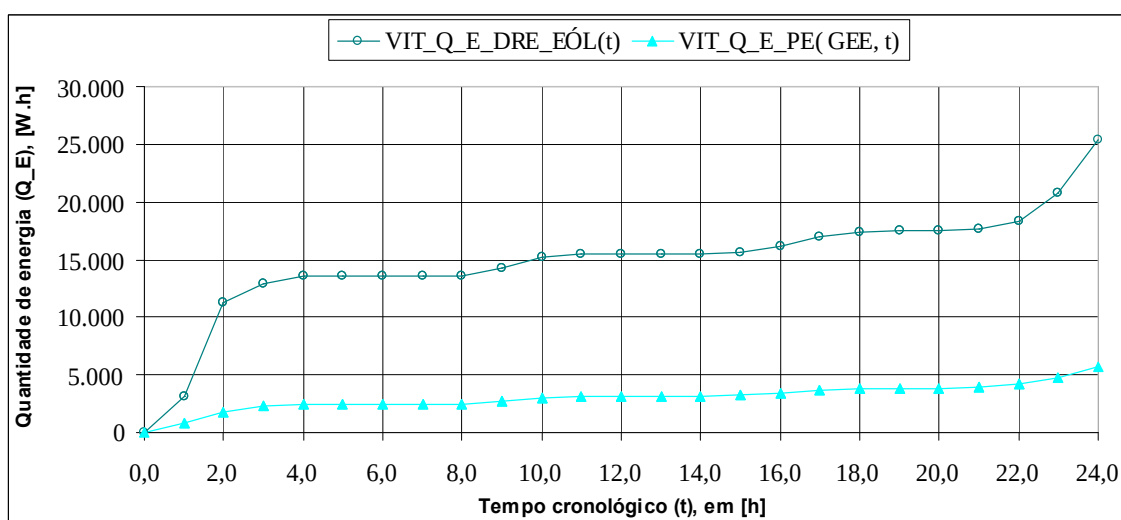


Gráfico 5.11: Valores integrativos da quantidade de energia de disponibilidade do recurso energético eólico e da quantidade de energia de produção eléctrica do GEE, em função do tempo cronológico

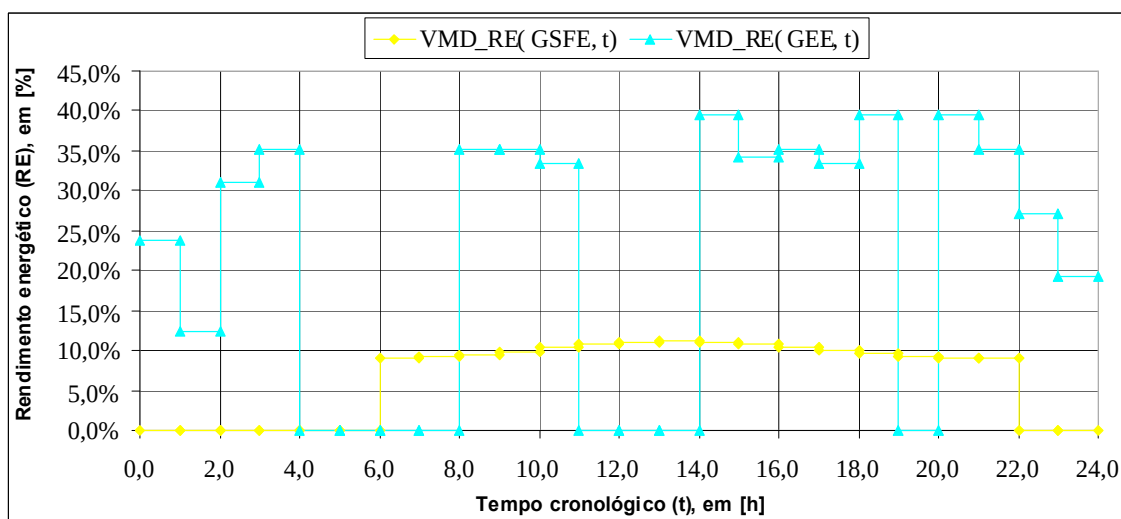


Gráfico 5.12: Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico

As produções eléctricas, os consumos eléctricos e os armazenamentos energéticos nos componentes do sistema energético híbrido (SEH) e no sistema consumidor eléctrico externo, são mostrados nos gráficos que têm os identificadores numéricos desde 5.13 até 5.19, para um SEH em que o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ tem uma ligação directa ao conjunto de baterias electroquímicas.

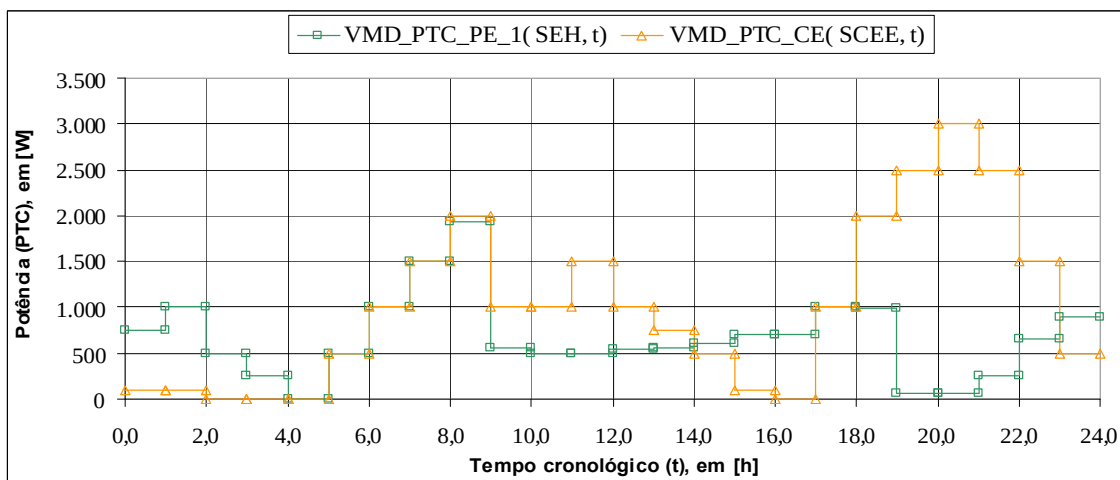


Gráfico 5.13: Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

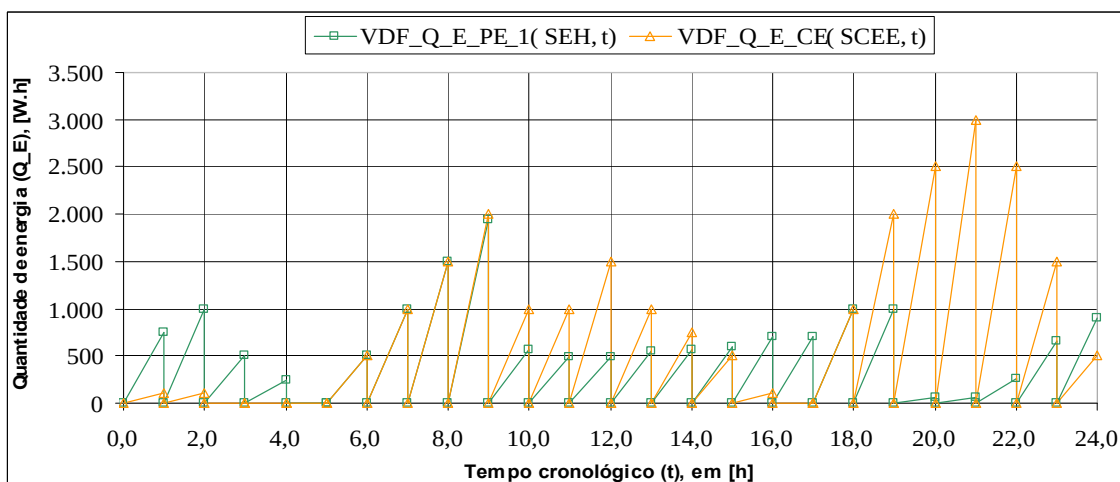


Gráfico 5.14: Valores diferenciais da quantidade de energia de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da quantidade de energia de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

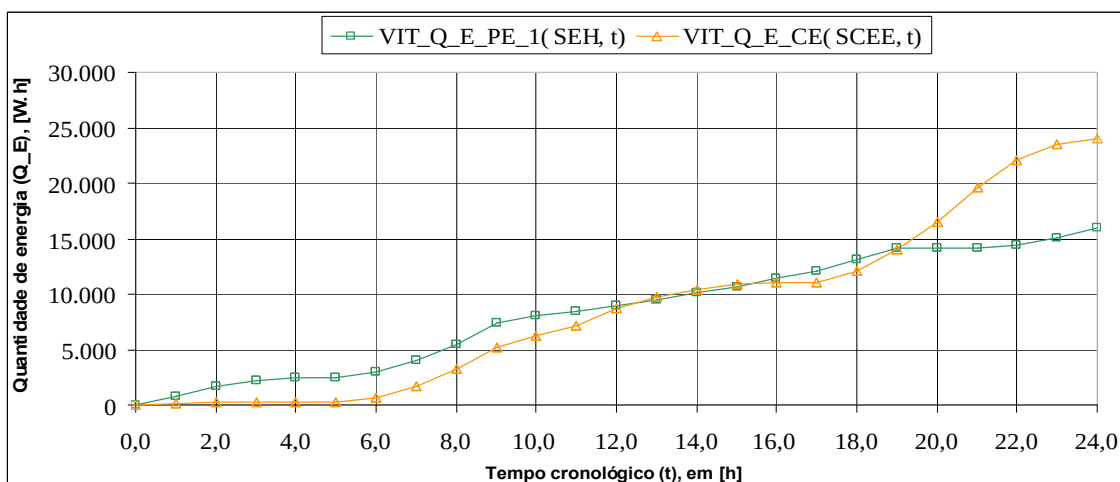


Gráfico 5.15: Valores integrativos da quantidade de energia de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da quantidade de energia de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

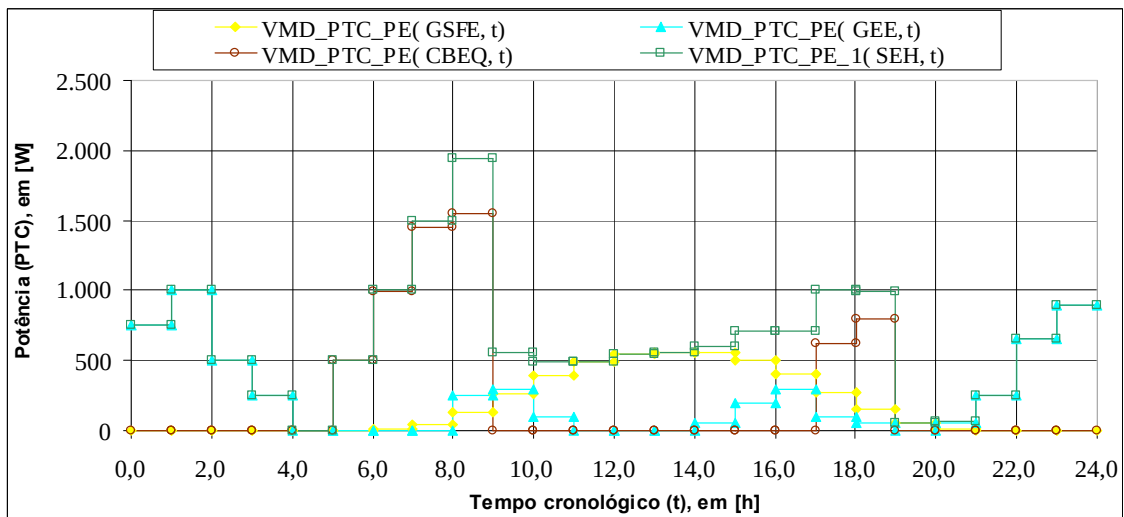


Gráfico 5.16: Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de produções eléctricas parciais de GSFE, de GEE e de CBEQ, em função do tempo cronológico

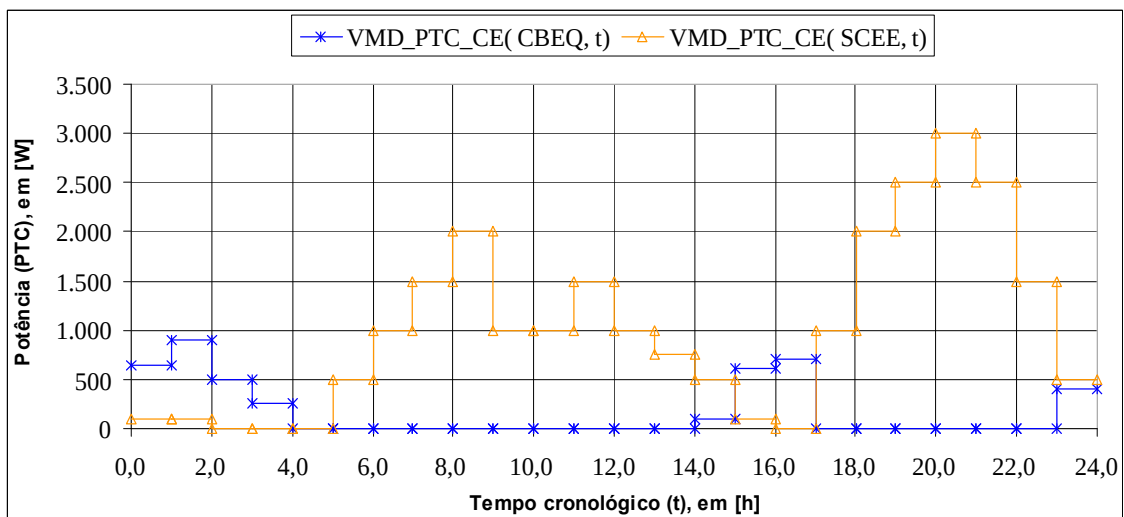


Gráfico 5.17: Valores médios da potência de consumo eléctrico do SCEE e da potência de consumo eléctrico do CBEQ, em função do tempo cronológico

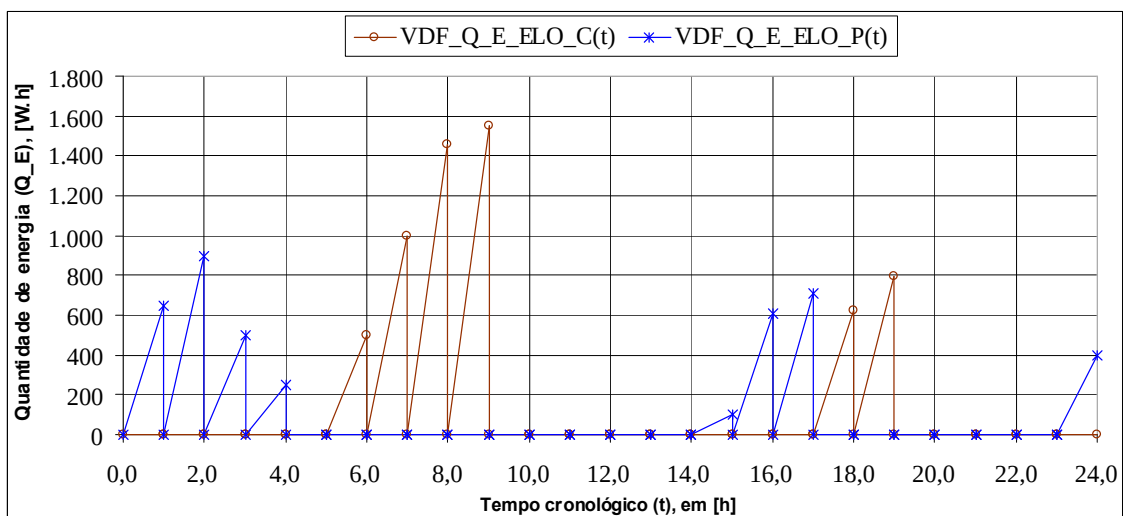


Gráfico 5.18: Valores diferenciais da quantidade de energia 'electrolítica' consumida no CBEQ e da quantidade de energia 'electrolítica' produzida no CBEQ, em função do tempo cronológico

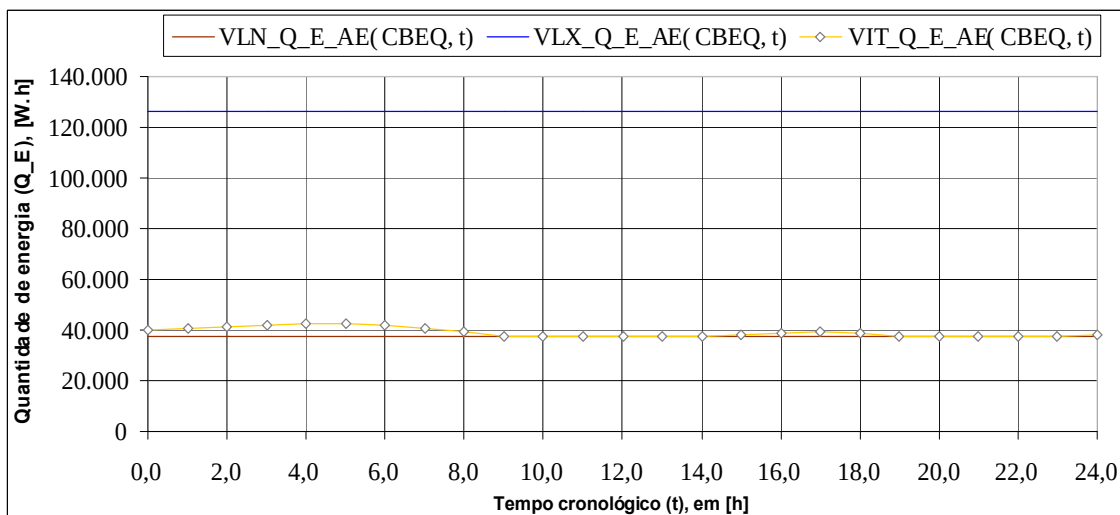


Gráfico 5.19: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico

A comparação entre o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo e as produções eléctricas do gerador 'solar-foto-eléctrico', do gerador 'eolo-eléctrico', do conjunto de baterias electroquímicas e do sistema energético híbrido, é exibida nos gráficos de resultados que têm os identificadores numéricos desde 5.20 até 5.23.

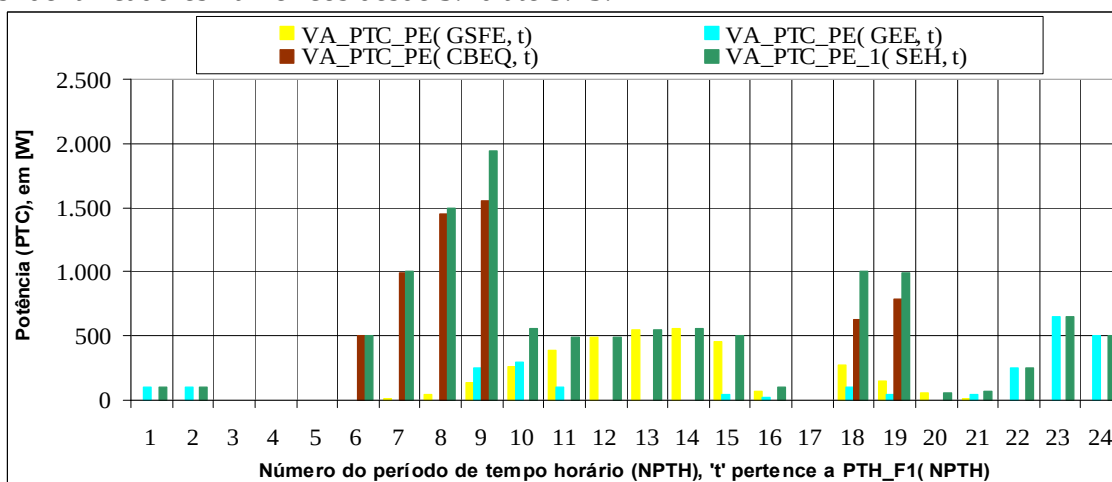


Gráfico 5.20: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

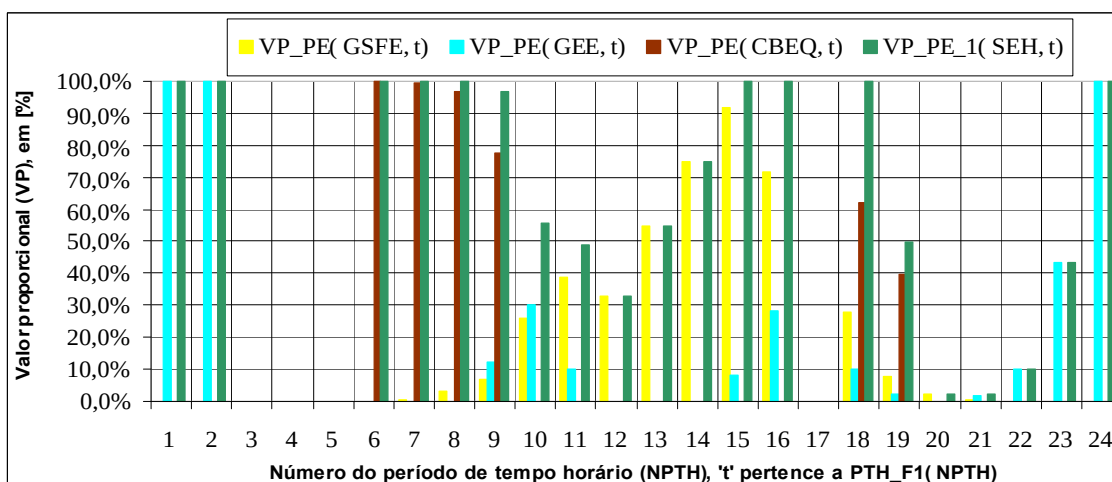


Gráfico 5.21: Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos de produções eléctricas relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

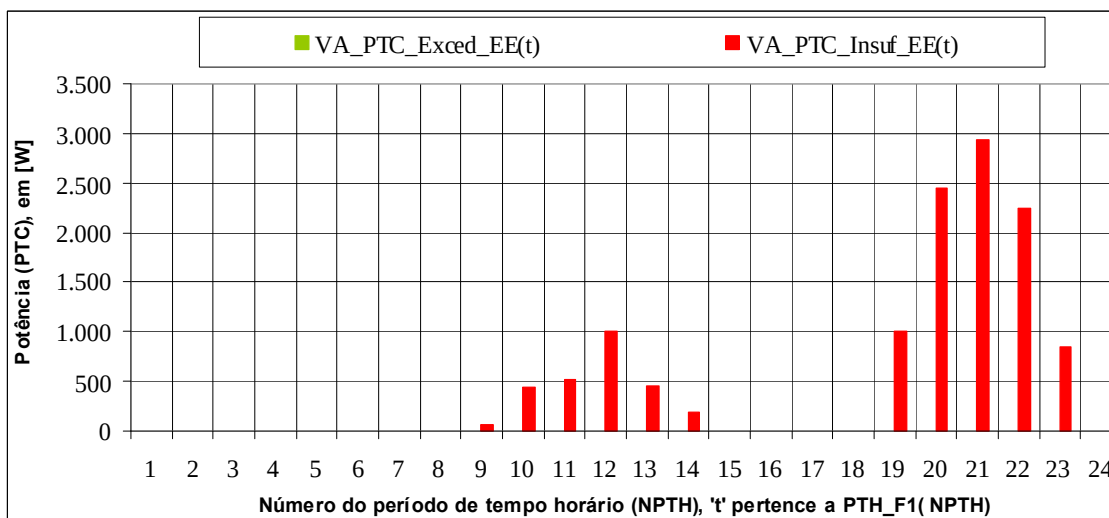


Gráfico 5.22: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

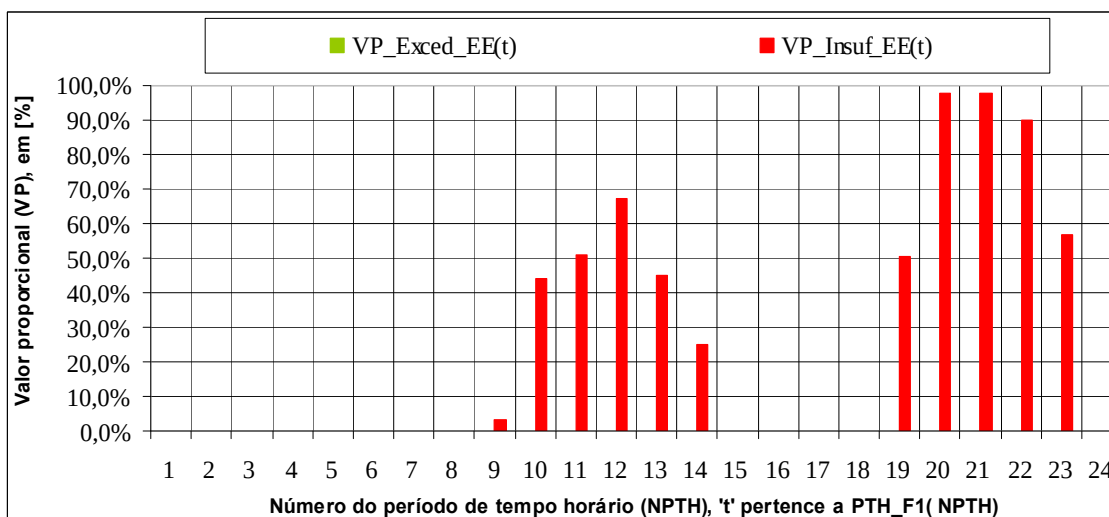


Gráfico 5.23: Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica, relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

Nos períodos de tempo horários elementares de 9 a 14 e de 19 a 23, existe insuficiência de produção de energia eléctrica para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo (SCEE), conforme se pode verificar nos gráficos 5.22 e 5.23. O conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ) tem um armazenamento energético reduzido no início da simulação, e só é capaz de satisfazer o consumo eléctrico externo a 100 [%] nos períodos de tempo 6 e 7, podendo-se comprovar nos gráficos 5.20 e 5.21. Existe uma contribuição de produção eléctrica do CBEQ juntamente com as produções eléctricas principais do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE) e-ou do gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE) que satisfaz o consumo eléctrico externo a 100 [%] nos períodos de tempo 8 e 18, e que satisfaz insuficientemente este consumo nos períodos de tempo 9 e 19. O armazenamento energético do CBEQ está no limite mínimo durante os períodos de tempo horários de 10 a 14 e de 20 a 23, tal como se pode conferir no gráfico 5.19.

Nos períodos de tempo horários elementares 1, 2, 15, 16 e 24, as produções eléctricas principais do GSFE e-ou do GEE satisfazem suficientemente o consumo eléctrico do SCEE, convertendo-se o excesso de energia eléctrica em energia ‘electrolítica’ que é armazenada no CBEQ, conforme se pode verificar nos gráficos 5.17, 5.18, 5.19 e 5.21.

A segunda configuração do sistema energético híbrido (SEH) tem o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ com uma ligação indirecta ao conjunto de baterias electroquímicas através de um seguidor do ponto de potência máxima, e mantém as restantes características iguais às da primeira configuração.

Para a simulação da segunda configuração do SEH, manteve-se os outros dados iguais aos da primeira configuração.

A tabela 5.3 contém os resultados das produções eléctricas e dos consumos eléctricos no interior do sistema energético híbrido, e a produção eléctrica fornecida para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo bem como a diferença entre estes dois parâmetros.

NPTH	PTC_PE(GSFE, t)	PTC_PE(GEE, t)	PTC_PE(CBEQ, t)	PTC_PE_1 (SEH, t)	PTC_CE(CBEQ, t)	Q_E_AE(CBEQ, t)	PTC_PE_2 (SEH, t)	PTC_Dif_2 (t)
	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W.h]	[W]	[W]
1	0	750	0	750	650	40.650	100	0
2	0	1.000	0	1.000	900	41.550	100	0
3	0	500	0	500	500	42.050	0	0
4	0	250	0	250	250	42.300	0	0
5	0	0	0	0	0	42.300	0	0
6	0	0	500	500	0	41.800	500	0
7	4	0	996	1.000	0	40.804	1.000	0
8	37	0	1.463	1.500	0	39.340	1.500	0
9	174	250	1.540	1.964	0	37.800	1.964	-36
10	512	300	0	812	0	37.800	812	-188
11	1.085	100	0	1.185	185	37.985	1.000	0
12	1.688	0	0	1.688	188	38.173	1.500	0
13	2.078	0	0	2.078	1.078	39.251	1.000	0
14	2.199	0	0	2.199	1.449	40.700	750	0
15	2.111	50	0	2.161	1.661	42.361	500	0
16	1.763	200	0	1.963	1.863	44.224	100	0
17	1.178	300	0	1.478	1.478	45.702	0	0
18	585	100	315	1.000	0	45.387	1.000	0
19	225	50	1.725	2.000	0	43.662	2.000	0
20	48	0	2.452	2.500	0	41.210	2.500	0
21	9	50	2.941	3.000	0	38.269	3.000	0
22	3	250	469	721	0	37.800	721	-1.779
23	0	650	0	650	0	37.800	650	-850
24	0	900	0	900	400	38.200	500	0

Tabela 5.3: Resultados das produções eléctricas , dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no SEH com SPPM

Para o aproveitamento energético do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ e do gerador ‘eolo-eléctrico’, são mostrados o gráfico de dados que tem o identificador numérico 5.24 e os gráficos de resultados que têm os identificadores numéricos desde 5.25 até 5.28, referentes à segunda configuração do sistema energético híbrido (SEH), os quais diferem dos gráficos da primeira configuração do SEH.

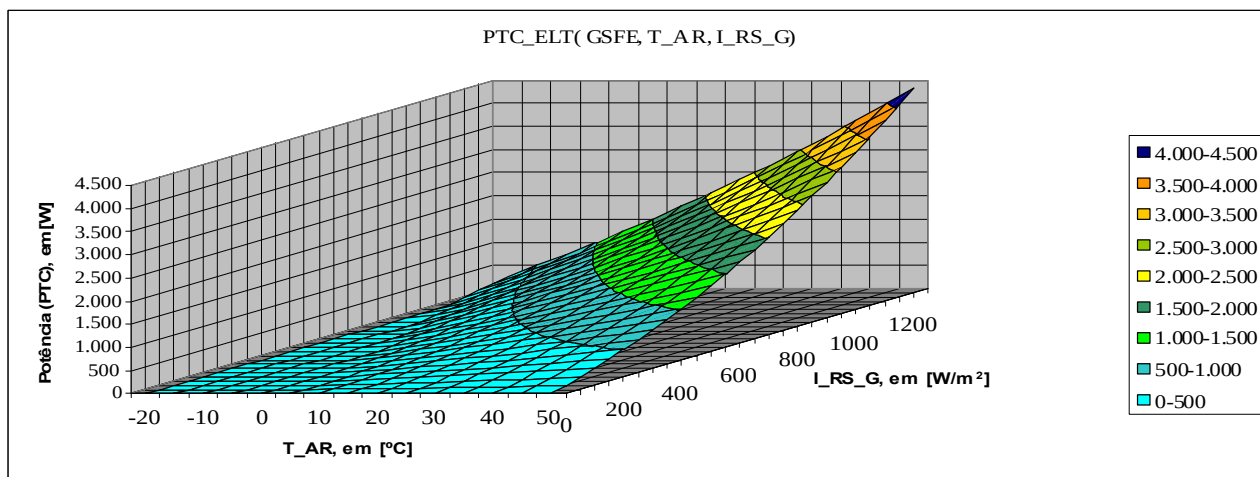


Gráfico 5.24: Valores da potência eléctrica do GSFE em função da temperatura do ar (T_{AR}) e da intensidade de radiação solar global (I_{RS_G}), considerando que I_{RS_G} incidente num plano horizontal é aproximadamente igual à I_{RS_G} incidente no plano dos painéis fotovoltaicos

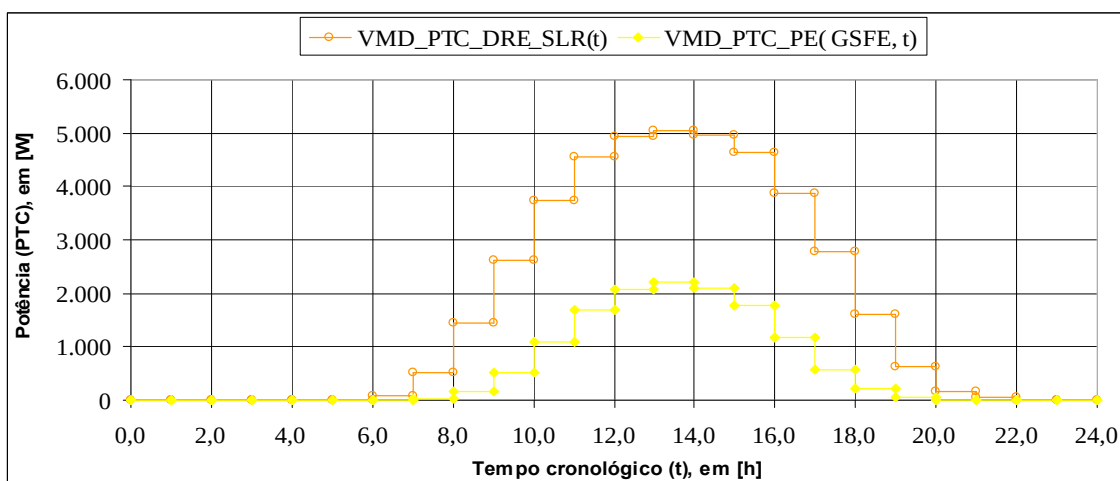


Gráfico 5.25: Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético solar e da potência de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico

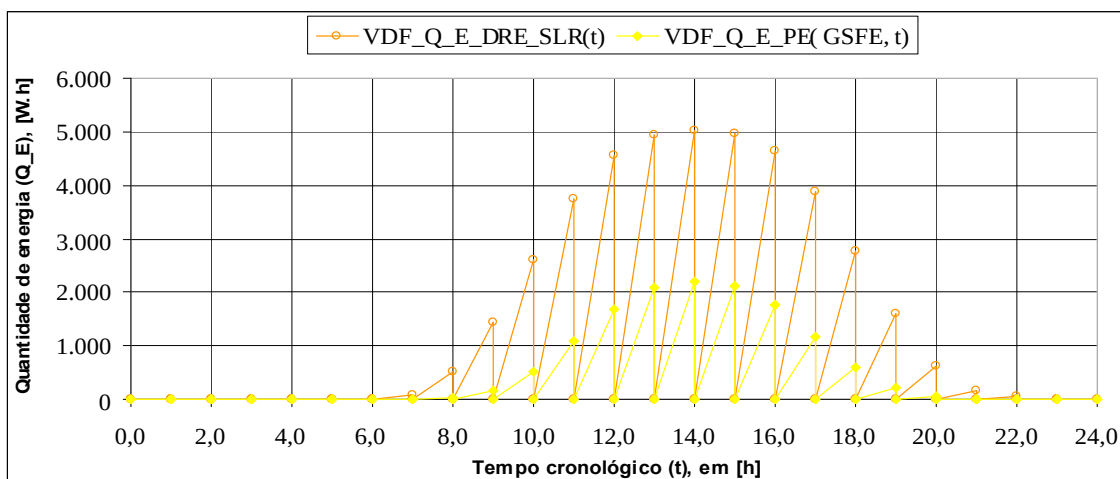


Gráfico 5.26: Valores diferenciais da quantidade de energia de disponibilidade do recurso energético solar e da quantidade de energia de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico

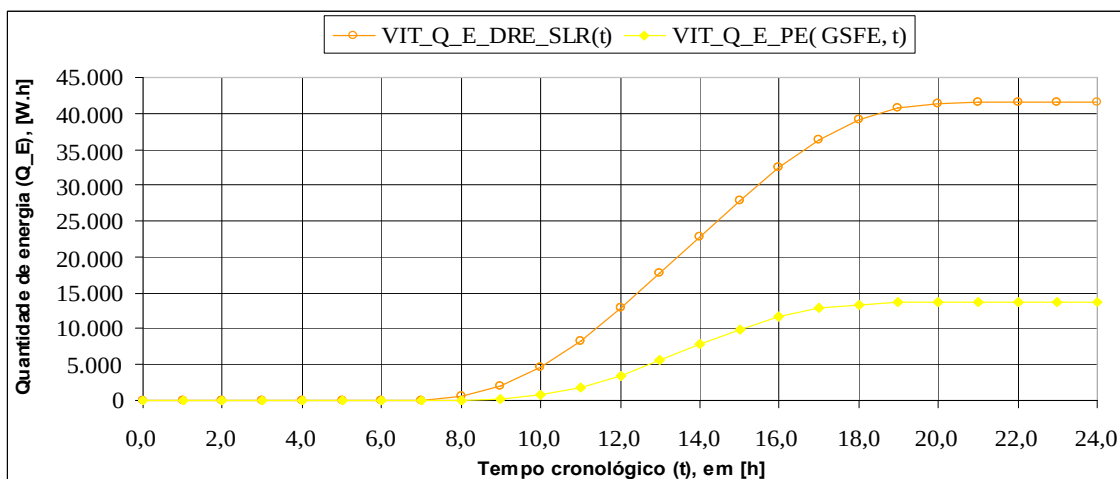


Gráfico 5.27: Valores integrativos da quantidade de energia de disponibilidade do recurso energético solar e da quantidade de energia de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico

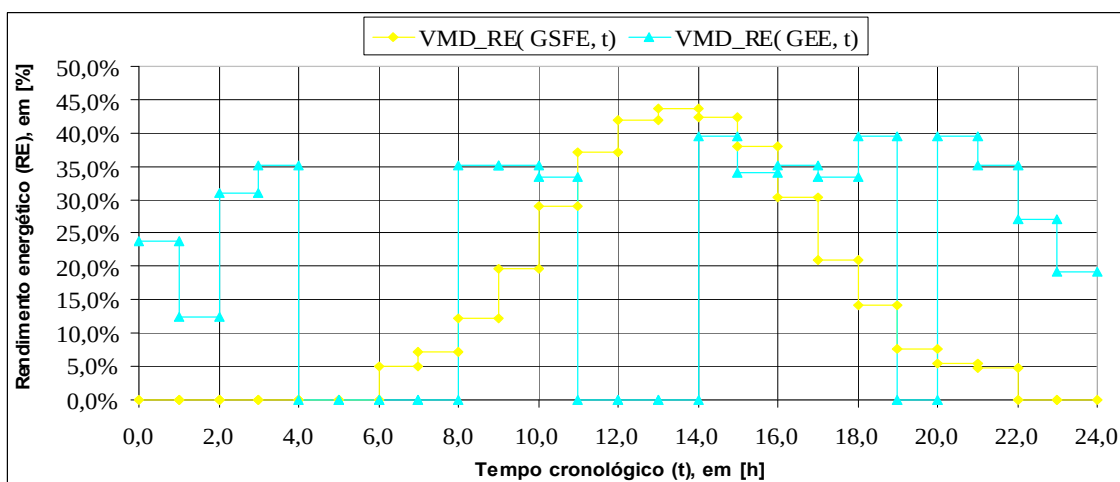


Gráfico 5.28: Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico

As produções eléctricas, os consumos eléctricos e os armazenamentos energéticos nos componentes do sistema energético híbrido (SEH) e no sistema consumidor eléctrico externo, são mostrados nos gráficos que têm os identificadores numéricos desde 5.29 até 5.35, para um SEH em que o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ tem uma ligação indirecta ao conjunto de baterias electroquímicas através de um seguidor do ponto de potência máxima.

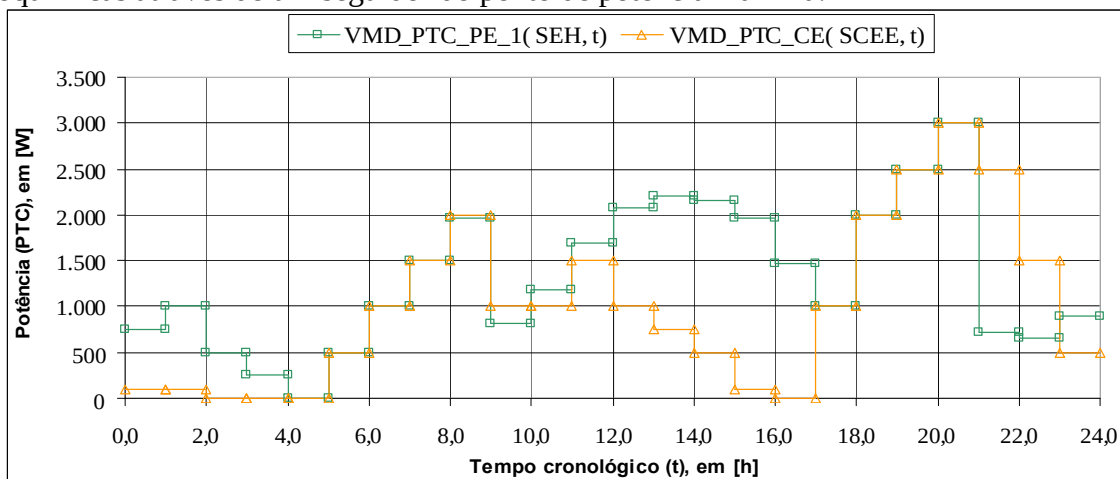


Gráfico 5.29: Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

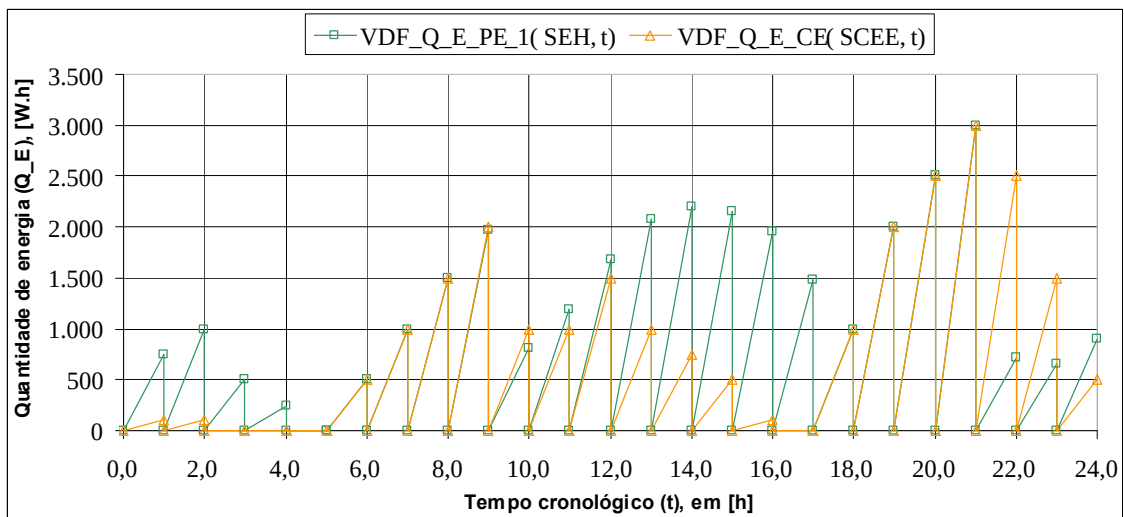


Gráfico 5.30: Valores diferenciais da quantidade de energia de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da quantidade de energia de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

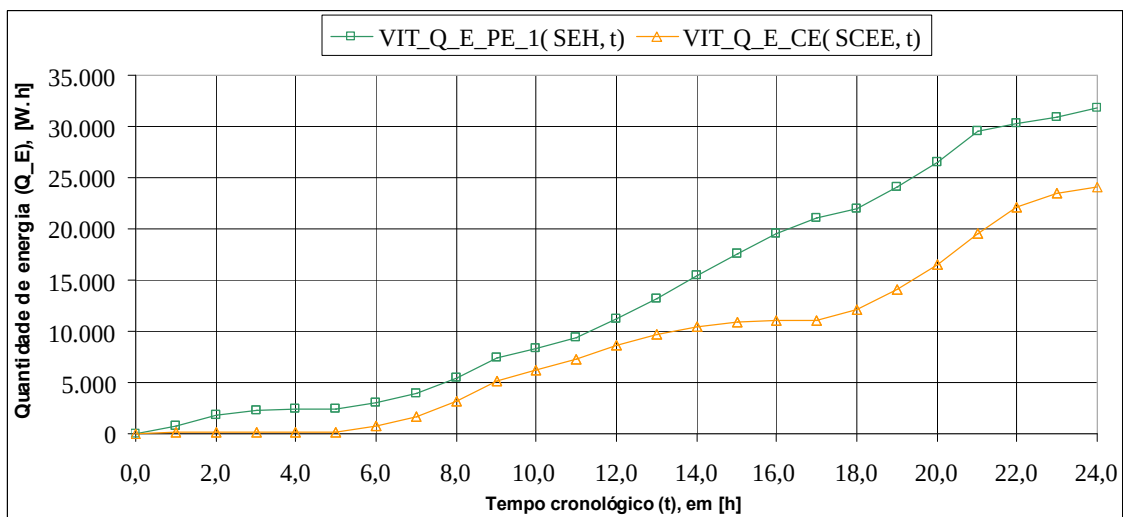


Gráfico 5.31: Valores integrativos da quantidade de energia de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da quantidade de energia de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

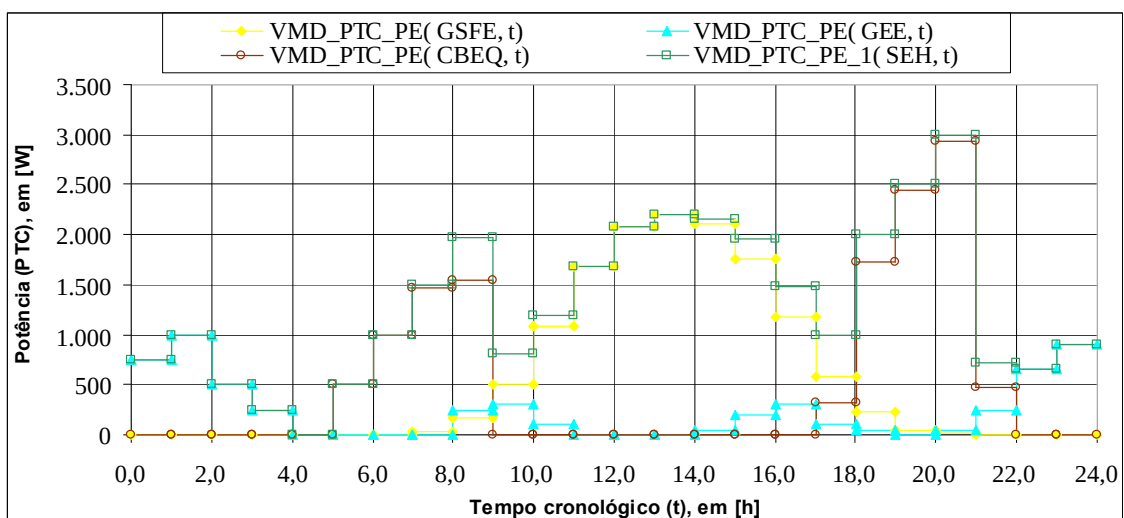


Gráfico 5.32: Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de produções eléctricas parciais de GSFE, de GEE e de CBEQ, em função do tempo cronológico

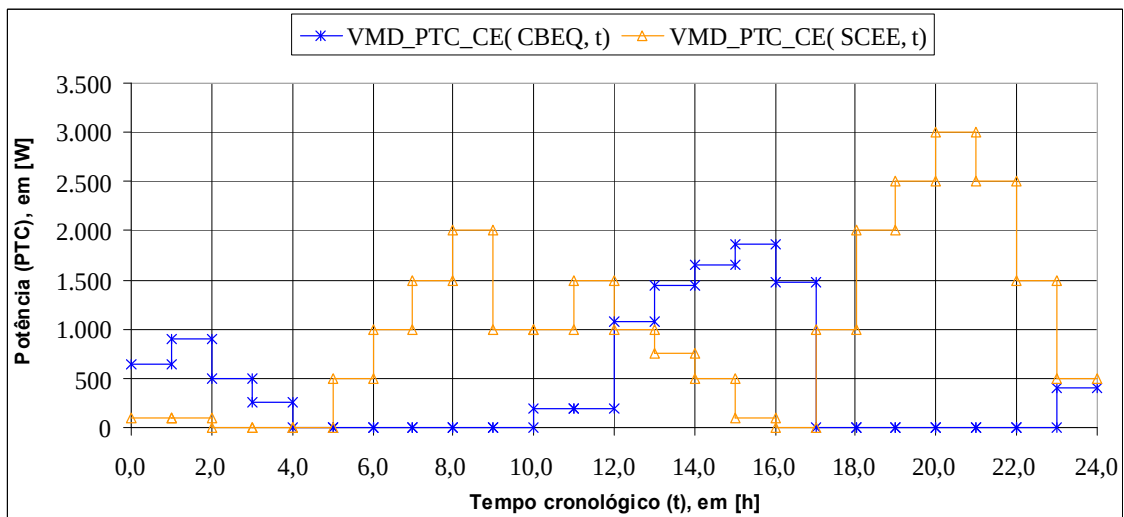


Gráfico 5.33: Valores médios da potência de consumo eléctrico do SCEE e da potência de consumo eléctrico do CBEQ, em função do tempo cronológico

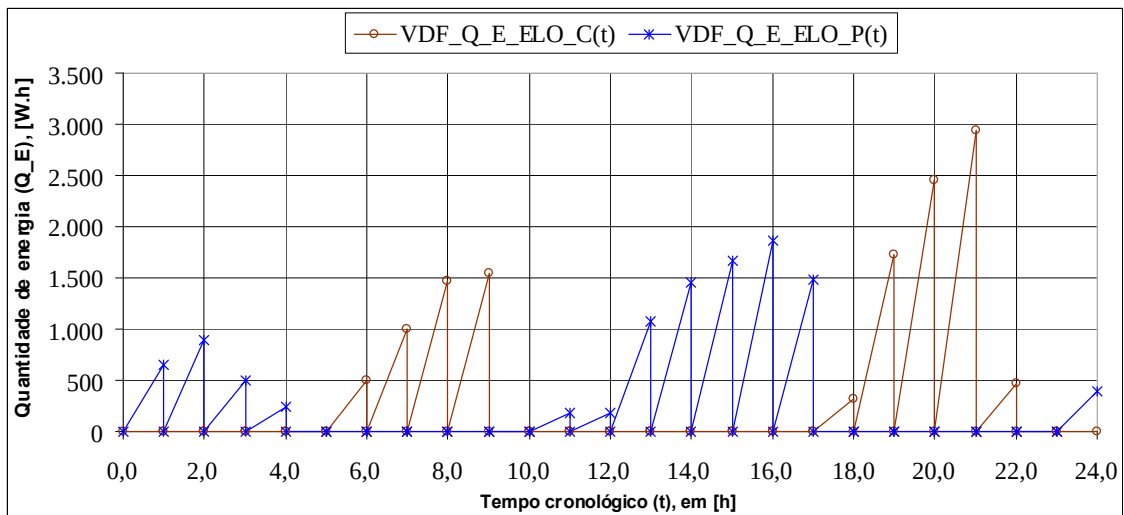


Gráfico 5.34: Valores diferenciais da quantidade de energia 'electrolítica' consumida no CBEQ e da quantidade de energia 'electrolítica' produzida no CBEQ, em função do tempo cronológico

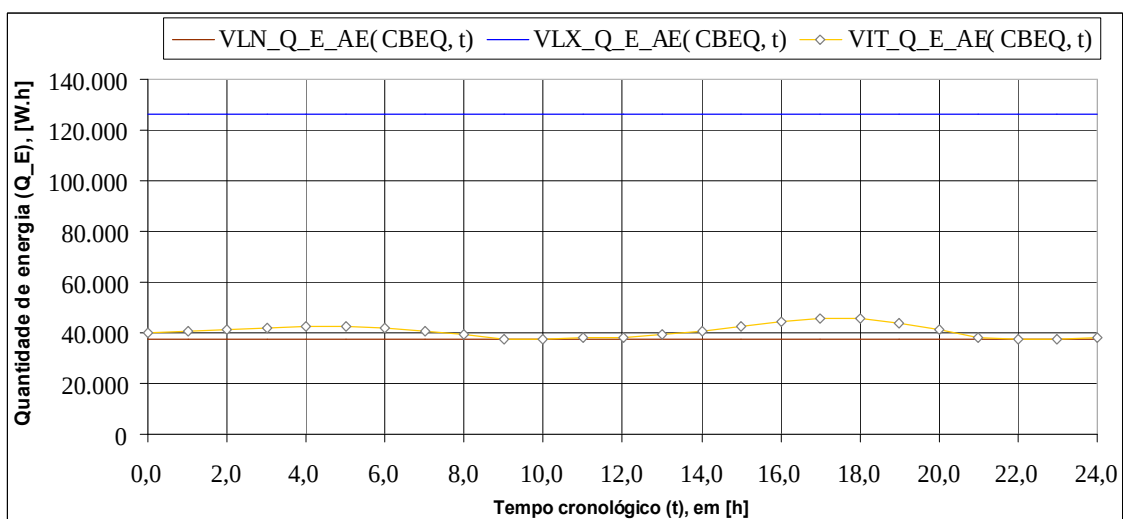


Gráfico 5.35: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico

A comparação entre o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo e as produções eléctricas do gerador ‘solar-foto-eléctrico’, do gerador ‘eolo-eléctrico’, do conjunto de baterias electroquímicas e do sistema energético híbrido (SEH), é exibida nos gráficos de resultados que têm os identificadores numéricos desde 5.36 até 5.39 para a segunda configuração do SEH.

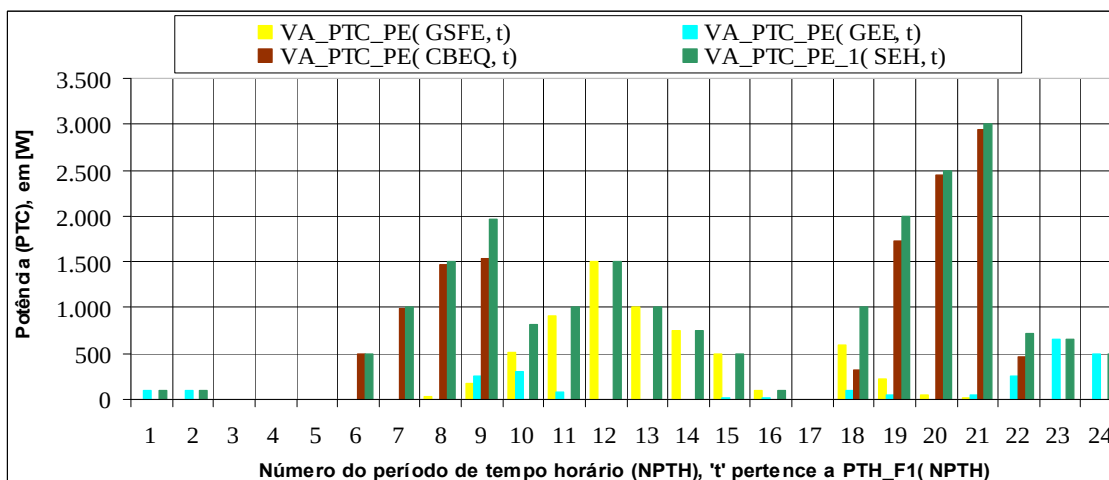


Gráfico 5.36: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

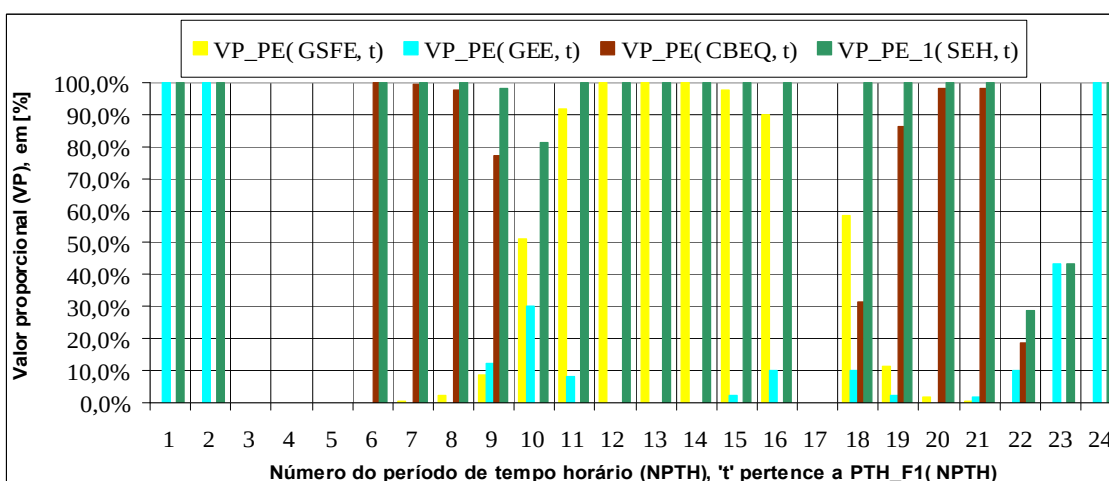


Gráfico 5.37: Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos de produções eléctricas relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

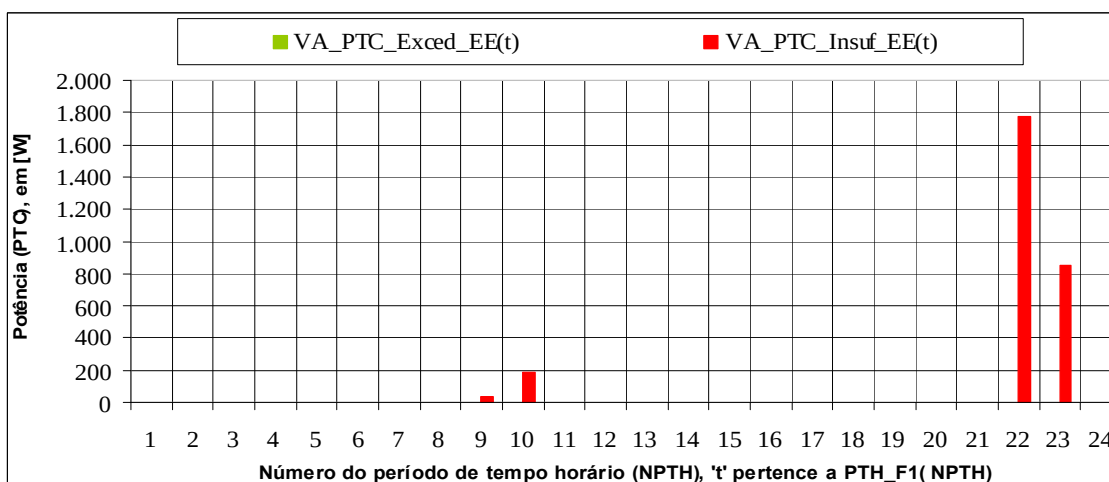


Gráfico 5.38: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

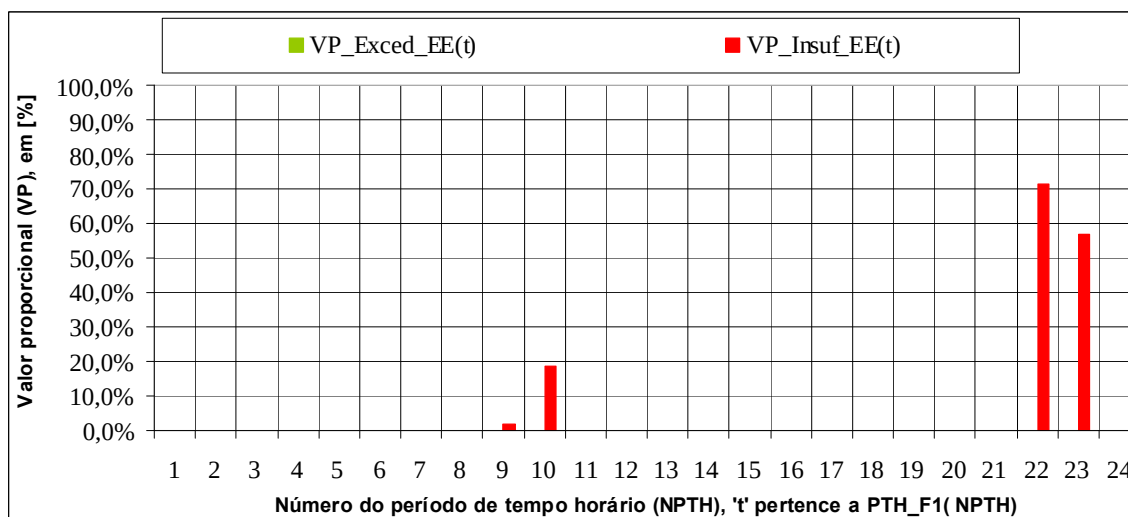


Gráfico 5.39: Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica, relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

Existe insuficiência de produção de energia eléctrica para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo nos períodos de tempo horários elementares 9, 10, 22 e 23, tal como se pode conferir nos gráficos 5.38 e 5.39. O conjunto de baterias electroquímicas ainda fornece alguma energia eléctrica nos períodos de tempo 9 e 22, mas já não fornece electricidade ao consumo eléctrico externo nos períodos de tempo 10 e 23 porque tem o seu armazenamento energético no limite mínimo, podendo-se comprovar nos gráficos 5.35, 5.36 e 5.37.

Na segunda configuração do sistema energético híbrido (SEH) em que existe um seguidor do ponto de potência máxima (SPPM), a insuficiência de produção de energia eléctrica para o consumo eléctrico externo é menor do que na primeira configuração do SEH em que não existe um SPPM, conforme se pode verificar nos gráficos 5.38 e 5.39 para a segunda configuração do SEH e respectivamente nos gráficos 5.22 e 5.23 para a primeira configuração do SEH.

5.1.5.2 - SEH com componentes existentes no edifício J da FEUP

Os dados dos parâmetros gerais dos dispositivos produtores de energia eléctrica são:

1) para o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE):

- 1.1) marca, modelo e versão dos painéis fotovoltaicos (PFV’s): { PFV1: (“Kaneka”; “LSU202”; “CEA”); PFV2: (“Kaneka”; “LSU202”; “CJA”)};
- 1.2) número de painéis fotovoltaicos: 2;
- 1.3) potência máxima de produção eléctrica de cada painel fotovoltaico (PFV): { PFV1: 54 [W]; PFV2: 58 [W] };
- 1.4) potência máxima de produção eléctrica do GSFE: 112 [W];
- 1.5) inclinação dos PFV’s em relação ao plano horizontal do local: 25,000 [°];
- 1.6) ângulo de azimute do plano dos PFV’s: 0,000 [°];
- 1.7) tensão eléctrica de circuito-aberto: 85,000 [V];
- 1.8) intensidade de corrente eléctrica de curto-circuito: { PFV1: 1,140 [A]; PFV2: 1,120 [A] };
- 1.9) tensão eléctrica no ponto de potência máxima: { PFV1: 62,000 [V]; PFV2: 63,000 [V] };
- 1.10) intensidade de corrente eléctrica no ponto de potência máxima: { PFV1: 0,870 [A]; PFV2: 0,920 [A] };
- 1.11) coeficiente de temperatura da intensidade de corrente eléctrica de curto-circuito, em percentagem: 0,050 [% / °C];
- 1.12) coeficiente de temperatura da tensão eléctrica de circuito-aberto, em percentagem: -0,110 [% / °C];
- 1.13) coeficiente de temperatura da potência eléctrica máxima, em percentagem: -0,135 [% / °C];
- 1.14) coeficiente de temperatura da tensão eléctrica no ponto de potência máxima, em percentagem: -0,110 [% / °C];
- 1.15) coeficiente de temperatura da intensidade de corrente eléctrica no ponto de potência máxima, em percentagem: 0,050 [% / °C];
- 1.16) temperatura de célula em funcionamento nominal: TCFN = "NOCT" = 42,000 [°C] $\pm$ 2 [°C];
- 1.17) ‘longura’ de um PFV: 920 [mm];
- 1.18) largura de um PFV: 920 [mm];
- 1.19) área de um PFV: 0,846 [m²].

2) para o gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE):

- 2.1) potência máxima de produção eléctrica do GEE: 1.400 [W];
- 2.2) área de varrimento da turbina eólica: 7,65 [m²].

No gerador ‘solar-foto-eléctrico’, os parâmetros de temperatura têm dados fictícios e foram estimados com base em dados de painéis fotovoltaicos semelhantes.

Os dados dos parâmetros gerais para o conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ) são:

- 1) número de baterias electroquímicas: 2;
- 2) limite mínimo de armazenamento energético no CBEQ: 792 [W.h];
- 3) limite máximo de armazenamento energético no CBEQ: 2.640 [W.h];
- 4) quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada, no CBEQ, no instante de tempo inicial para a simulação: $Q_{E_ELO_A}(t_0) = 838$ [W.h];
- 5) tensão eléctrica nominal de uma bateria electroquímica (BEQ): 12 [V];
- 6) tensão eléctrica nominal no CBEQ: 24 [V].

A potência de limite máximo de consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo é 150 [W].

Os dados, para os parâmetros gerais da simulação da gestão operacional, são:

- 1) passo de tempo cronológico: $PTCR = 1,000 \text{ [h]} = 60 \text{ [min]}$;
- 2) duração do período de tempo a ser simulado: $24 \text{ [h]} = 1 \text{ [dia]}$.

Na seguinte tabela 5.4, apresenta-se os dados estimados dos parâmetros do tempo climático, em valor médio, para os 24 períodos de tempo horários de um dia, e esses parâmetros são:

- a intensidade da radiação solar global ($I_{RS_G(t)}$);
- a temperatura do ar ($T_{AR(t)}$);
- a velocidade do vento ($VV(t)$).

Também se apresenta os dados em valor médio da potência de consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo ($CE(SCEE, t) = PTC_{CE}(SCEE, t)$).

NPTH	PTH_F1		PTH_F2		I_RS_G(t)	T_AR(t)	VV(t)	CE(SC EE, t)
	[ITI_F1; ITF_F1[		[ITI_F2; ITF_F2[					
	ITI_F1	ITF_F1	ITI_F2	ITF_F2				
	[h]	[h]	[hor]:[min]	[hor]:[min]				
1	0,000	1,000	00:00	01:00	0,000	14,8	10,071	150
2	1,000	2,000	01:00	02:00	0,000	14,8	12,000	150
3	2,000	3,000	02:00	03:00	0,000	14,8	8,231	150
4	3,000	4,000	03:00	04:00	0,000	14,8	6,250	150
5	4,000	5,000	04:00	05:00	0,000	14,8	2,000	100
6	5,000	6,000	05:00	06:00	0,000	14,8	1,000	0
7	6,000	7,000	06:00	07:00	29,709	15,0	0,000	0
8	7,000	8,000	07:00	08:00	120,095	15,7	1,500	0
9	8,000	9,000	08:00	09:00	266,863	17,4	6,250	0
10	9,000	10,000	09:00	10:00	453,565	20,4	6,667	0
11	10,000	11,000	10:00	11:00	653,326	25,2	4,714	0
12	11,000	12,000	11:00	12:00	832,637	29,5	1,500	0
13	12,000	13,000	12:00	13:00	958,964	32,6	0,500	0
14	13,000	14,000	13:00	14:00	1.008,415	33,8	0,000	0
15	14,000	15,000	14:00	15:00	971,458	32,9	4,000	0
16	15,000	16,000	15:00	16:00	855,226	30,1	5,800	0
17	16,000	17,000	16:00	17:00	681,790	25,9	6,667	0
18	17,000	18,000	17:00	18:00	482,868	21,2	4,714	0
19	18,000	19,000	18:00	19:00	292,327	19,0	4,000	0
20	19,000	20,000	19:00	20:00	138,437	15,9	2,000	0
21	20,000	21,000	20:00	21:00	37,847	15,1	4,000	0
22	21,000	22,000	21:00	22:00	1,043	14,8	6,250	100
23	22,000	23,000	22:00	23:00	0,000	14,8	9,357	150
24	23,000	24,000	23:00	00:00	0,000	14,8	11,167	150

Tabela 5.4: Dados para os parâmetros do tempo climático e para o consumo eléctrico do SCEE

A tabela 5.5 contém os resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no interior do sistema energético híbrido, e a produção eléctrica fornecida para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo bem como a diferença entre estes dois parâmetros.

NPTH	PTC_PE(GSFE, t)	PTC_PE(GEE, t)	PTC_PE(CBEQ, t)	PTC_PE_1 (SEH, t)	PTC_CE(CBEQ, t)	Q_E_AE(CBEQ, t)	PTC_PE_2 (SEH, t)	PTC_Dif_2 (t)
	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W.h]	[W]	[W]
1	0	750	0	750	600	1.438	150	0
2	0	1.000	0	1.000	850	2.288	150	0
3	0	500	0	500	350	2.638	150	0
4	0	250	0	250	2	2.640	248	98
5	0	0	100	100	0	2.540	100	0
6	0	0	0	0	0	2.540	0	0
7	1	0	0	1	1	2.541	0	0
8	6	0	0	6	6	2.547	0	0
9	16	250	0	266	93	2.640	173	173
10	28	300	0	328	0	2.640	328	328
11	41	100	0	141	0	2.640	141	141
12	51	0	0	51	0	2.640	51	51
13	57	0	0	57	0	2.640	57	57
14	58	0	0	58	0	2.640	58	58
15	57	50	0	107	0	2.640	107	107
16	52	200	0	252	0	2.640	252	252
17	42	300	0	342	0	2.640	342	342
18	30	100	0	130	0	2.640	130	130
19	17	50	0	67	0	2.640	67	67
20	7	0	0	7	0	2.640	7	7
21	2	50	0	52	0	2.640	52	52
22	0	250	0	250	0	2.640	250	150
23	0	650	0	650	0	2.640	650	500
24	0	900	0	900	0	2.640	900	750

Tabela 5.5: Resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no SEH sem SPPM

Legenda dos parâmetros da tabela 5.5:

[É igual à parte 5.1 do sub-capítulo 5.1 «SEH com componentes arbitrários».]

Mostra-se a seguir os gráficos de dados que têm os identificadores numéricos 5.40 e 5.42, e os gráficos de resultados que têm os identificadores numéricos 5.41, 5.43 e 5.44 para o aproveitamento energético do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ e do gerador ‘eolo-eléctrico’.

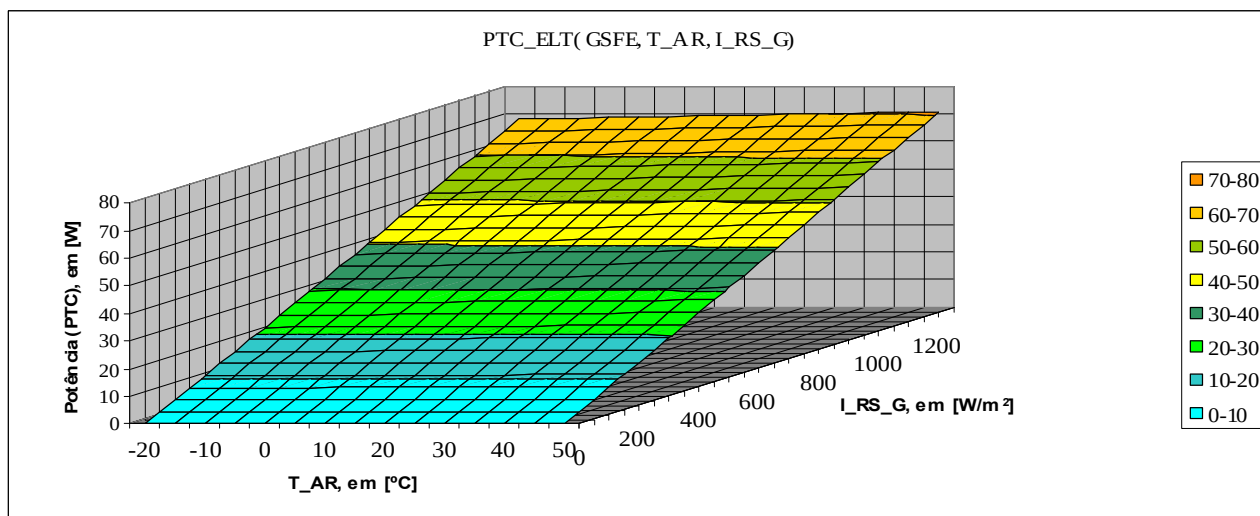


Gráfico 5.40: Valores da potência eléctrica do GSFE em função da temperatura do ar (T_{AR}) e da intensidade de radiação solar global (I_{RS_G}), considerando que I_{RS_G} incidente num plano horizontal é aproximadamente igual à I_{RS_G} incidente no plano dos painéis fotovoltaicos

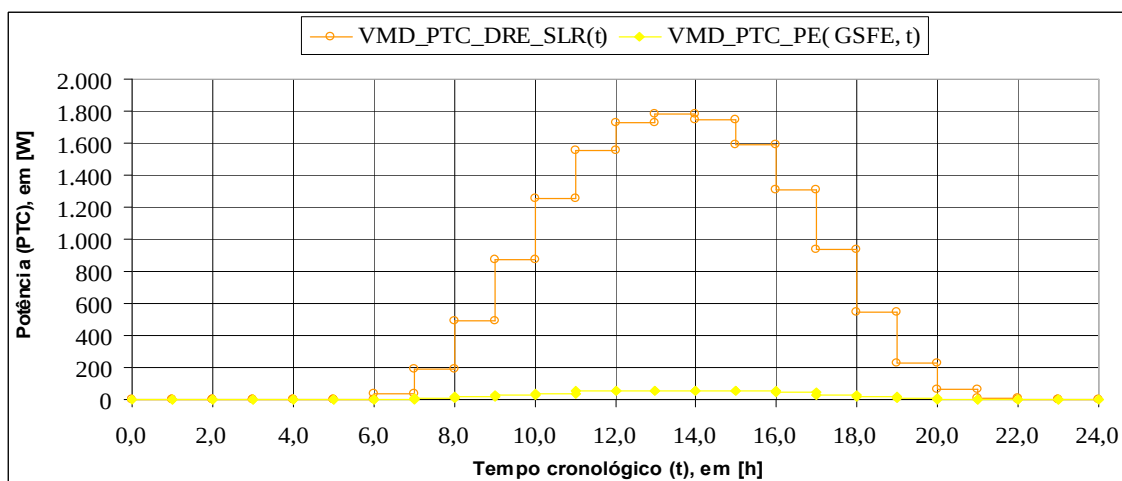


Gráfico 5.41: Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético solar e da potência de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico

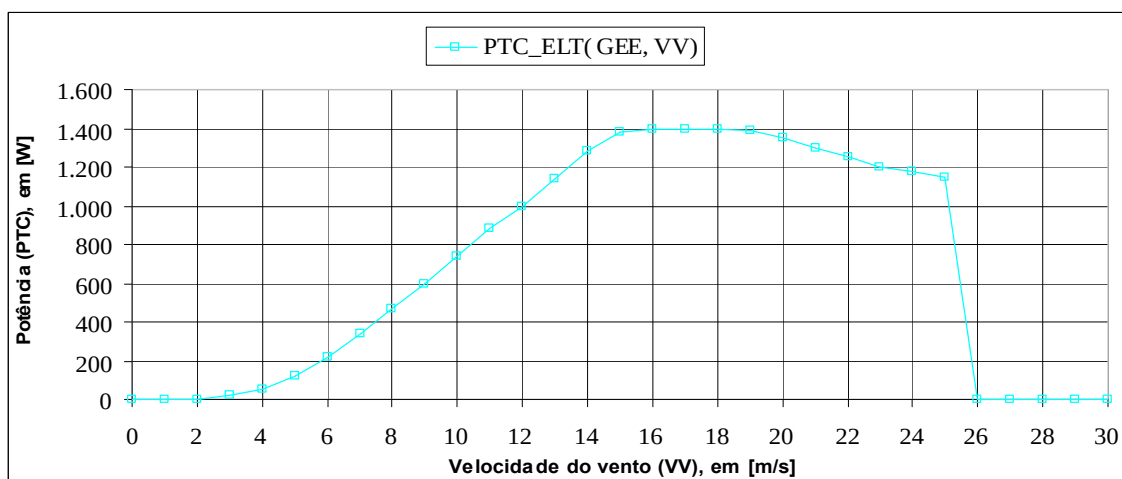


Gráfico 5.42: Valores da potência eléctrica do GEE em função da velocidade do vento (VV)

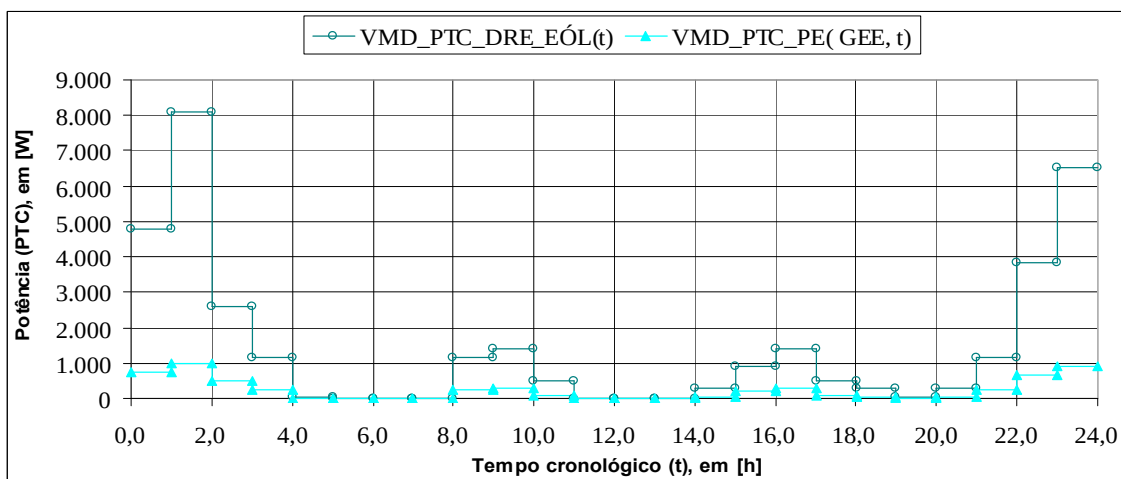


Gráfico 5.43: Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético eólico e da potência de produção eléctrica do GEE, em função do tempo cronológico

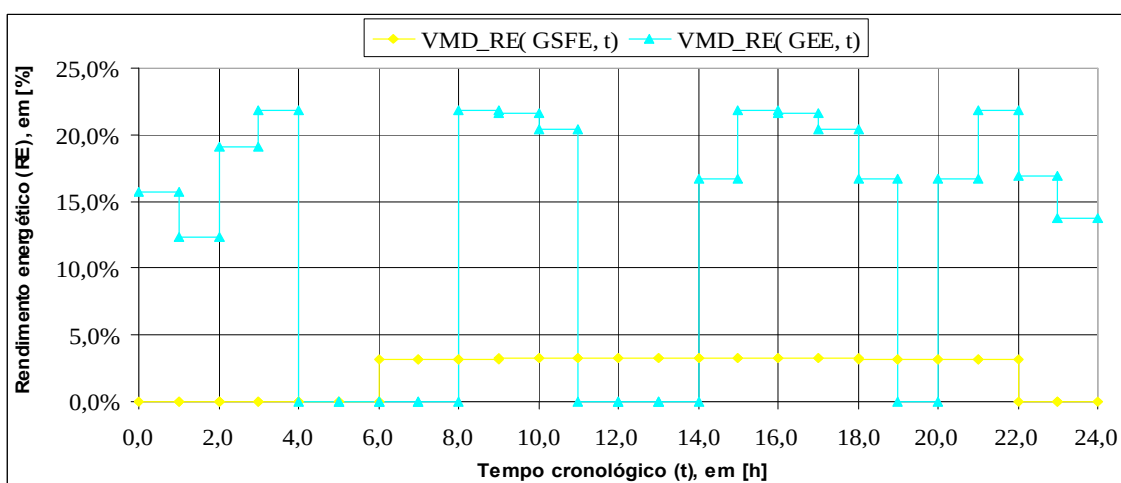


Gráfico 5.44: Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico

As produções eléctricas, os consumos eléctricos e os armazenamentos energéticos nos componentes do sistema energético híbrido (SEH) e no sistema consumidor eléctrico externo, são mostrados nos gráficos que têm os identificadores numéricos desde 5.45 até 5.48, para um SEH em que o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ tem uma ligação directa ao conjunto de baterias electroquímicas.

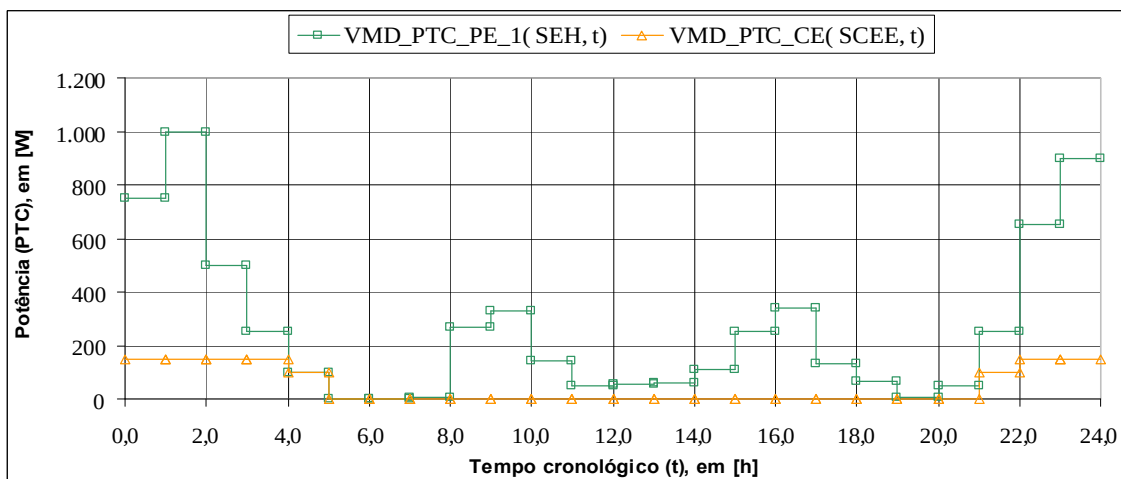


Gráfico 5.45: Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

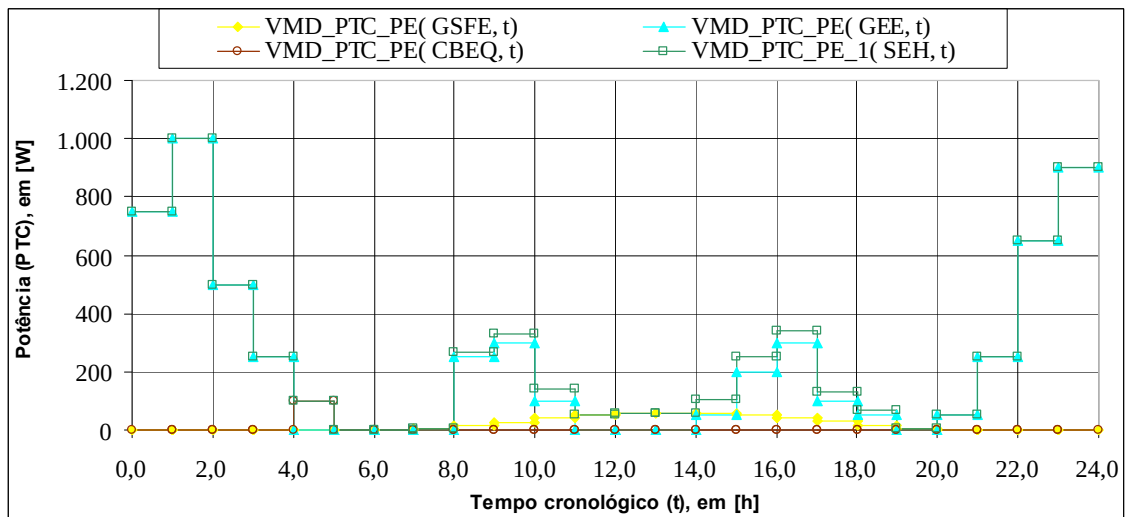


Gráfico 5.46: Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de produções eléctricas parciais de GSFE, de GEE e de CBEQ, em função do tempo cronológico

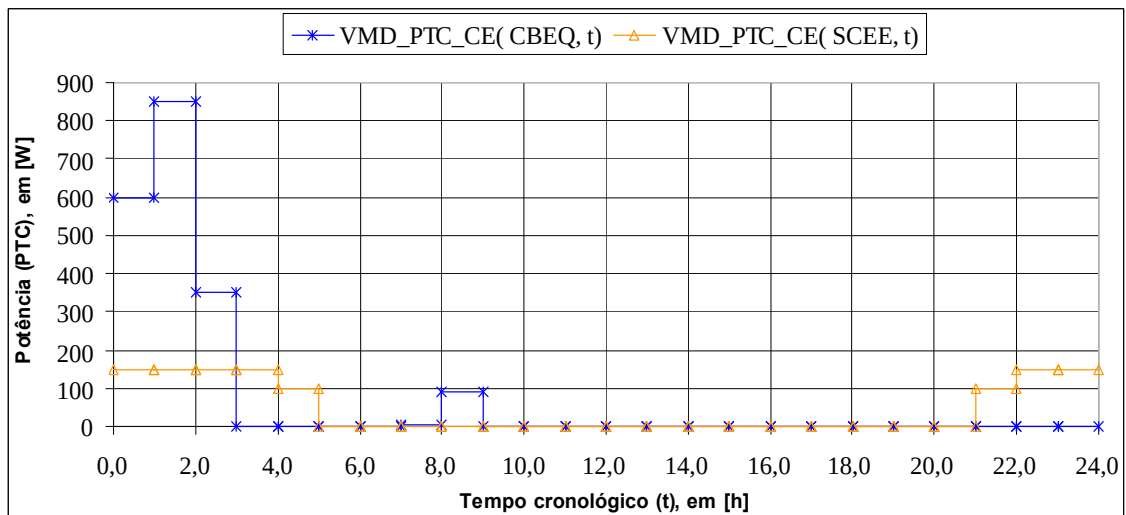


Gráfico 5.47: Valores médios da potência de consumo eléctrico do SCEE e da potência de consumo eléctrico do CBEQ, em função do tempo cronológico

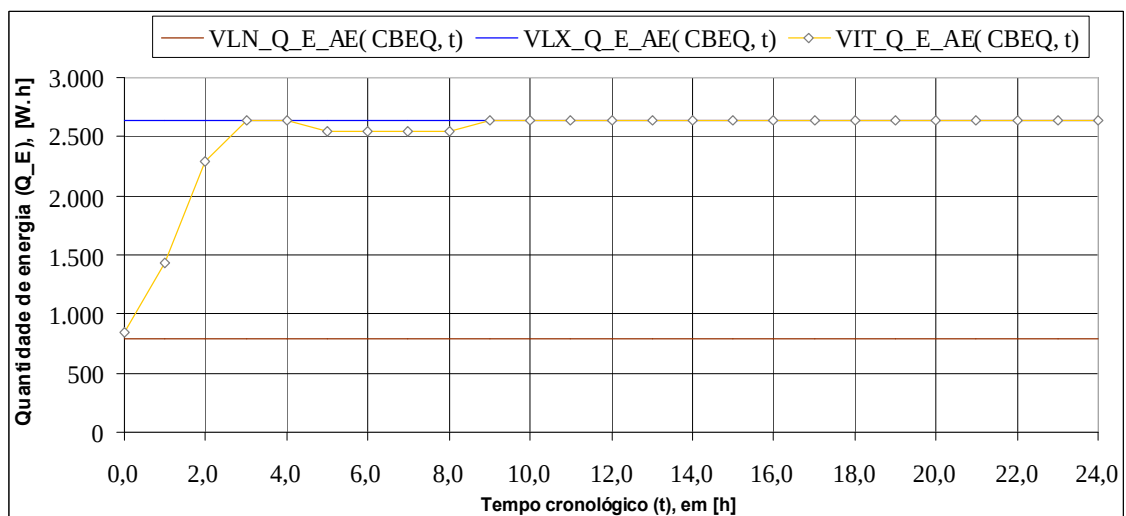


Gráfico 5.48: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico

A comparação entre o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo e as produções eléctricas do gerador ‘solar-foto-eléctrico’, do gerador ‘eolo-eléctrico’, do conjunto de baterias electroquímicas e do sistema energético híbrido, é exibida nos gráficos de resultados que têm os identificadores numéricos desde 5.49 até 5.52.

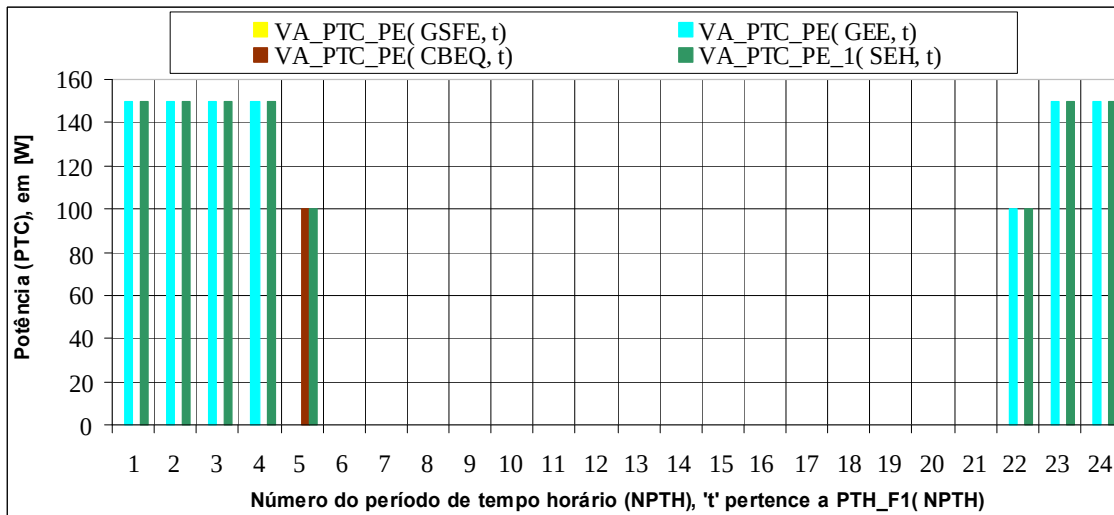


Gráfico 5.49: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

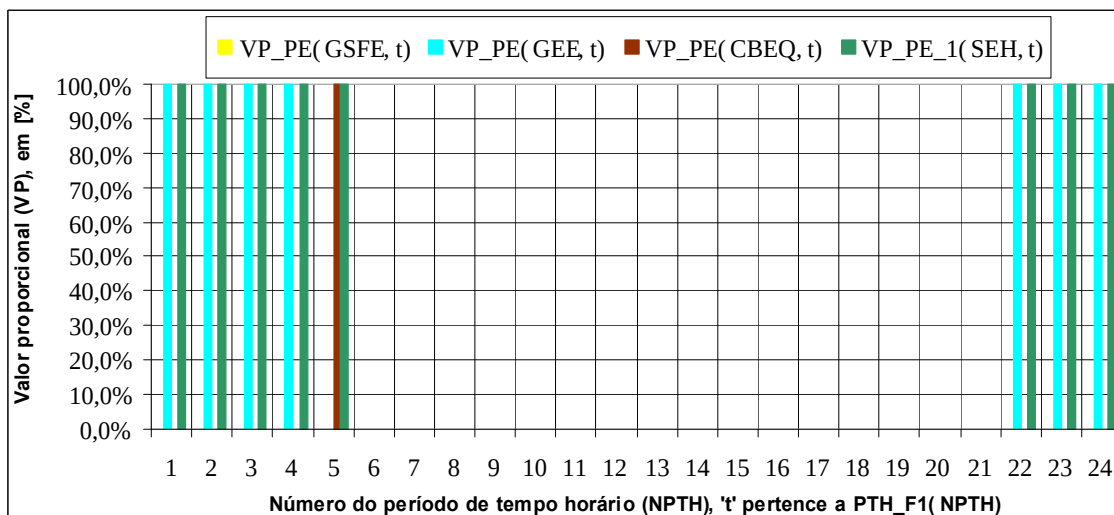


Gráfico 5.50: Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos de produções eléctricas relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

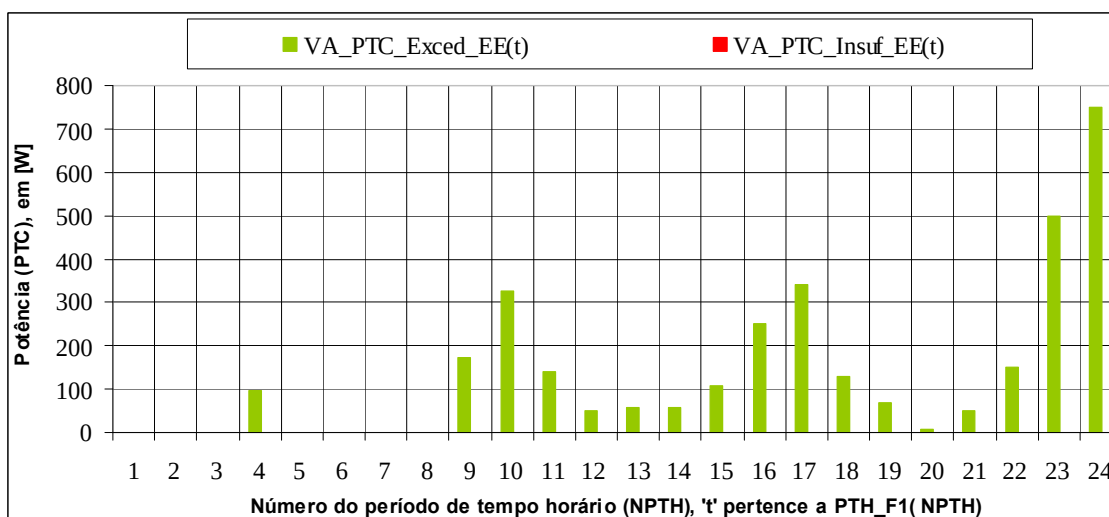


Gráfico 5.51: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

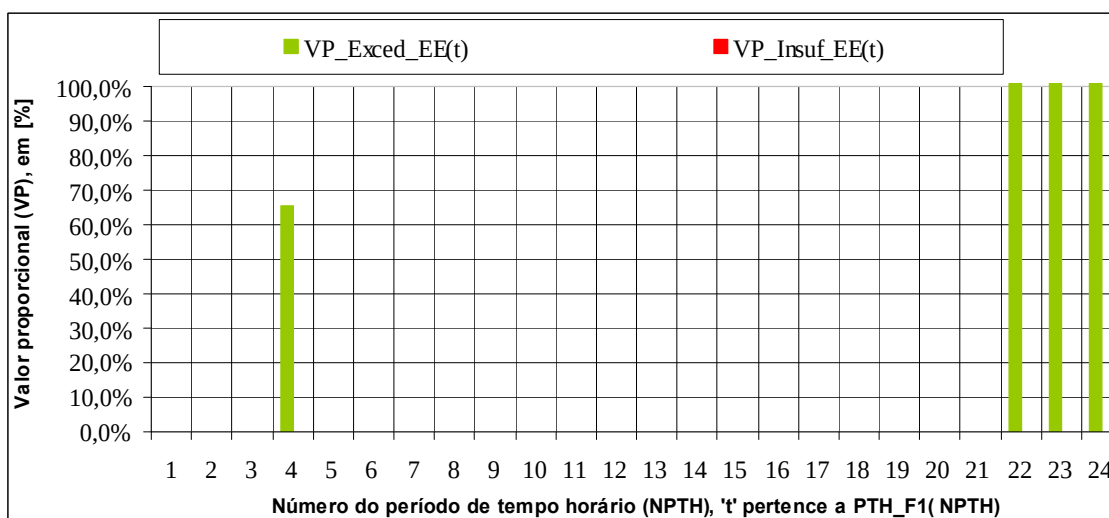


Gráfico 5.52: Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica, relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

Nos períodos de tempo horários elementares 4 e de 9 a 24, existe excedência de produção de energia eléctrica para satisfazer o consumo eléctrico externo, conforme se pode verificar nos gráficos 5.51 e 5.52.

O conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ) tem um armazenamento energético próximo do limite mínimo no início da simulação, e atinge o seu limite máximo no período de tempo horário 4 ([3,0; 4,0[[h]), podendo-se comprovar no gráfico 5.48. No período de tempo horário 5, o CBEQ fornece 100 [%] da electricidade ao sistema consumidor eléctrico externo (SCEE), e o armazenamento energético do CBEQ é reposto no seu limite máximo até às 9,0 [h] e mantém-se nesse limite até às 24,0 [h] , tal como se pode verificar nos gráficos 5.48, 5.49 e 5.50.

Nos restantes períodos de tempo horários elementares para os quais o SCEE requer energia eléctrica, o consumo eléctrico externo é satisfeito a 100 [%] pela produção eléctrica principal do gerador ‘eolo-eléctrico’, tal como se pode conferir nos gráficos 5.49 e 5.50.

A segunda configuração do sistema energético híbrido (SEH) tem o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ com uma ligação indirecta ao conjunto de baterias electroquímicas através de um seguidor do ponto de potência máxima, e mantém as restantes características iguais às da primeira configuração.

Para a simulação da segunda configuração do SEH, manteve-se os outros dados iguais aos da primeira configuração.

A tabela 5.6 contém os resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no interior do sistema energético híbrido, e a produção eléctrica fornecida para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo bem como a diferença entre estes dois parâmetros.

NPTH	PTC_PE(GSFE, t)	PTC_PE(GEE, t)	PTC_PE(CBEQ, t)	PTC_PE_1 (SEH, t)	PTC_CE(CBEQ, t)	Q_E_AE(CBEQ, t)	PTC_PE_2 (SEH, t)	PTC_Dif_2 (t)
	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W.h]	[W]	[W]
1	0	750	0	750	600	1.438	150	0
2	0	1.000	0	1.000	850	2.288	150	0
3	0	500	0	500	350	2.638	150	0
4	0	250	0	250	2	2.640	248	98
5	0	0	100	100	0	2.540	100	0
6	0	0	0	0	0	2.540	0	0
7	1	0	0	1	1	2.541	0	0
8	7	0	0	7	7	2.548	0	0
9	32	250	0	282	92	2.640	189	189
10	92	300	0	392	0	2.640	392	392
11	193	100	0	293	0	2.640	293	293
12	303	0	0	303	0	2.640	303	303
13	381	0	0	381	0	2.640	381	381
14	409	0	0	409	0	2.640	409	409
15	388	50	0	438	0	2.640	438	438
16	317	200	0	517	0	2.640	517	517
17	209	300	0	509	0	2.640	509	509
18	105	100	0	205	0	2.640	205	205
19	41	50	0	91	0	2.640	91	91
20	9	0	0	9	0	2.640	9	9
21	1	50	0	51	0	2.640	51	51
22	0	250	0	250	0	2.640	250	150
23	0	650	0	650	0	2.640	650	500
24	0	900	0	900	0	2.640	900	750

Tabela 5.6: Resultados das produções eléctricas , dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no SEH com SPPM

Para o aproveitamento energético do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ e do gerador ‘eolo-eléctrico’, são mostrados o gráfico de dados que tem o identificador numérico 5.53 e os gráficos de resultados que têm os identificadores numéricos 5.54 e 5.55, referentes à segunda configuração do sistema energético híbrido (SEH), os quais diferem dos gráficos da primeira configuração do SEH.

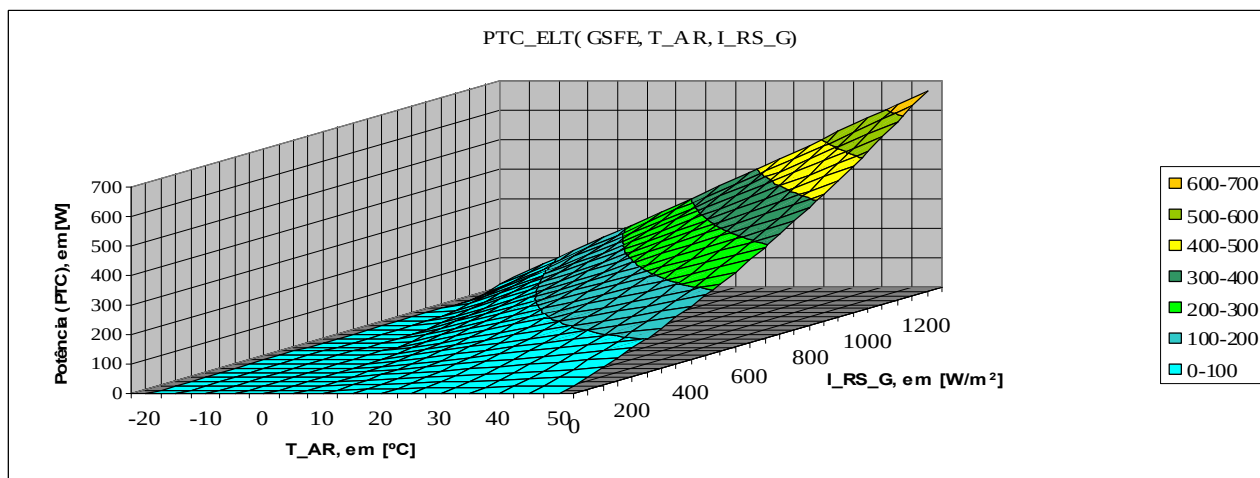


Gráfico 5.53: Valores da potência eléctrica do GSFE em função da temperatura do ar (T_{AR}) e da intensidade de radiação solar global (I_{RS_G}), considerando que I_{RS_G} incidente num plano horizontal é aproximadamente igual à I_{RS_G} incidente no plano dos painéis fotovoltaicos

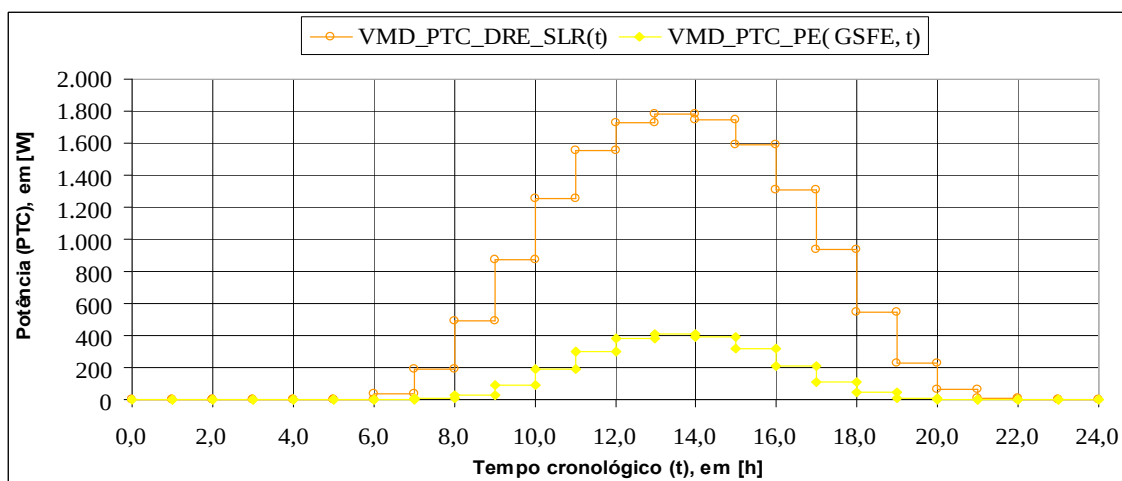


Gráfico 5.54: Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético solar e da potência de produção eléctrica do GSFE, em função do tempo cronológico

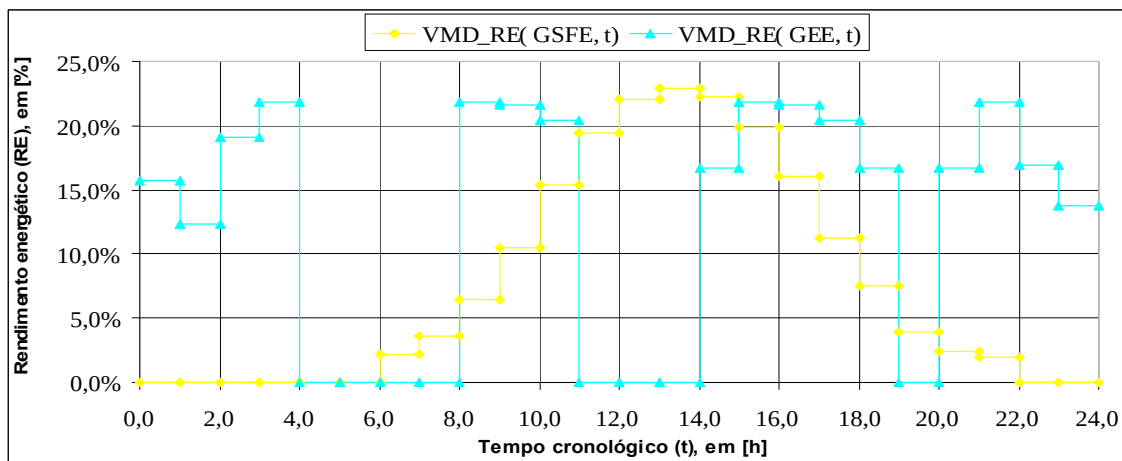


Gráfico 5.55: Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico

As produções eléctricas, os consumos eléctricos e os armazenamentos energéticos nos componentes do sistema energético híbrido (SEH) e no sistema consumidor eléctrico externo, são mostrados nos gráficos que têm os identificadores numéricos desde 5.55 até 5.59, para um SEH em que o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ tem uma ligação indirecta ao conjunto de baterias electroquímicas através de um seguidor do ponto de potência máxima.

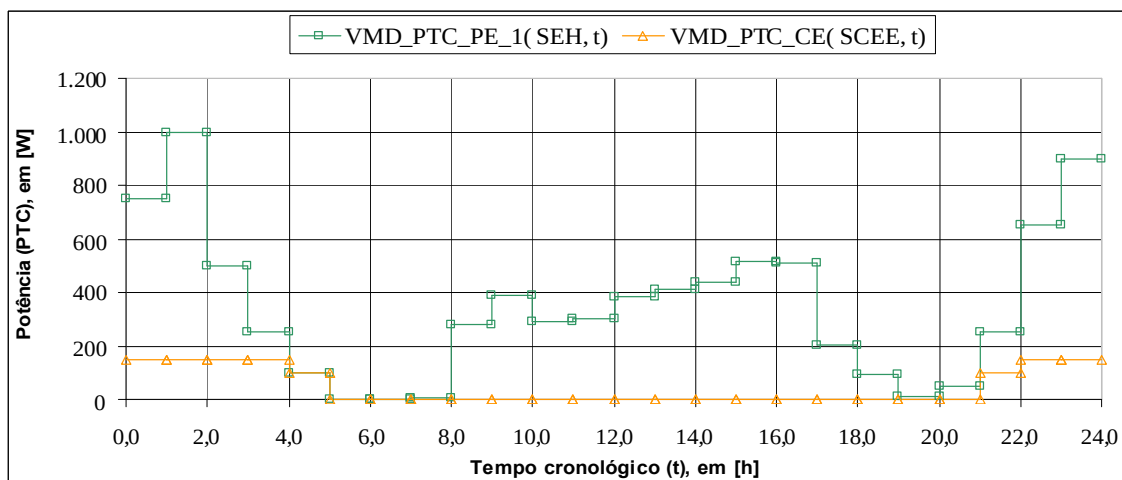


Gráfico 5.56: Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

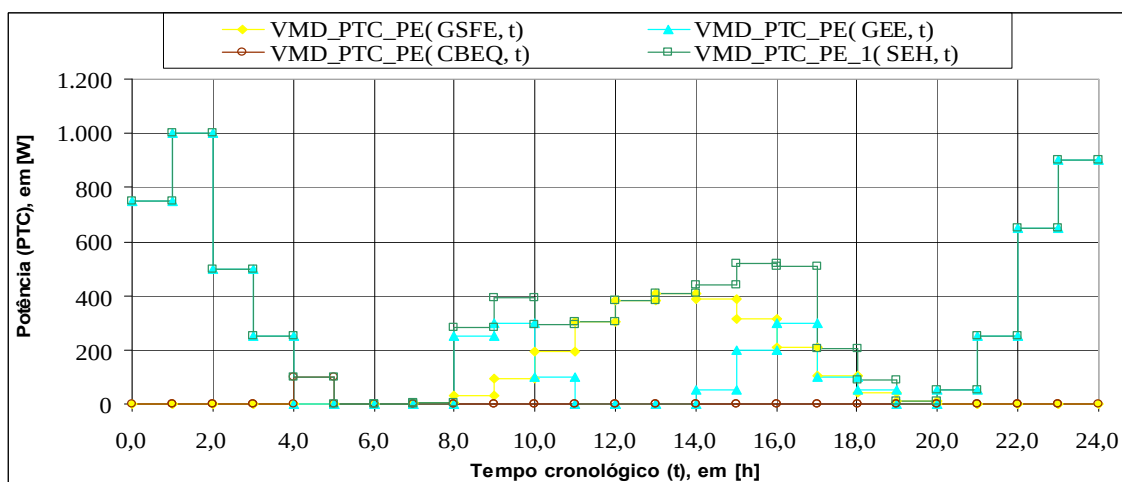


Gráfico 5.57: Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de produções eléctricas parciais de GSFE, de GEE e de CBEQ, em função do tempo cronológico

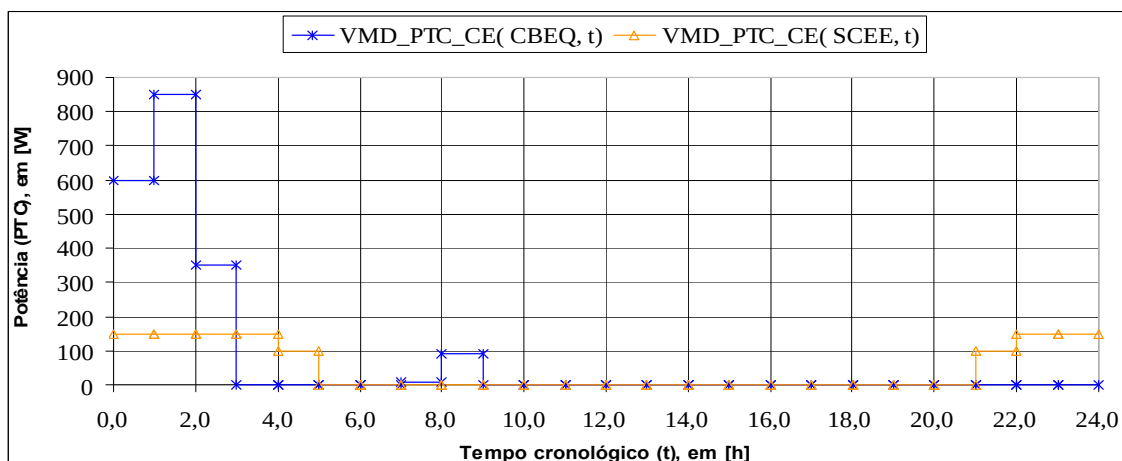


Gráfico 5.58: Valores médios da potência de consumo eléctrico do SCEE e da potência de consumo eléctrico do CBEQ, em função do tempo cronológico

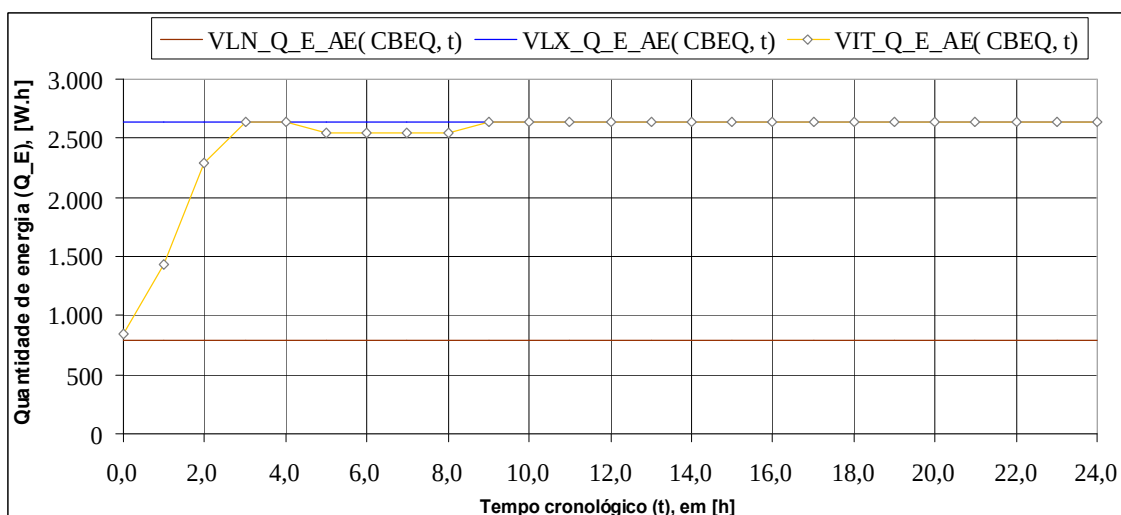


Gráfico 5.59: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico

A comparação entre o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo e a produção eléctrica do sistema energético híbrido (SEH), é exibida no gráfico 5.60 de resultados para a segunda configuração do SEH.

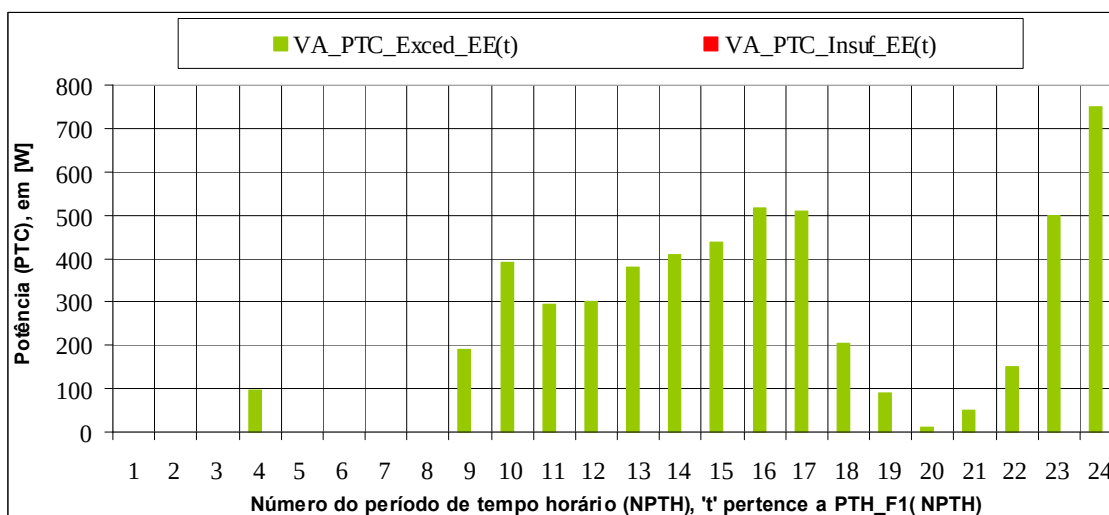


Gráfico 5.60: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

A excedência de produção de energia eléctrica, na segunda configuração do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico externo, ocorre nos mesmos períodos de tempo horários elementares da primeira configuração do SEH. Nos períodos de tempo horários elementares de 9 a 20, essa excedência de produção eléctrica na segunda configuração do SEH é superior à da primeira configuração do SEH, porque existe uma maior produção eléctrica do gerador 'solar-foto-eléctrico'.

5.2 - Estudo da gestão operacional diária de um SEH só com armazenamento de energia hídrica (E_HDC)

5.2.1 - Esquema das formas-de-energia principais no SEH

As formas energéticas principais no sistema energético híbrido (SEH), que é apresentado no esquema da figura 5.6, são:

- de entrada: a energia solar, a energia eólica e a energia hídrica;
- de armazenamento energético: a energia hídrica;
- de saída útil: a energia eléctrica.

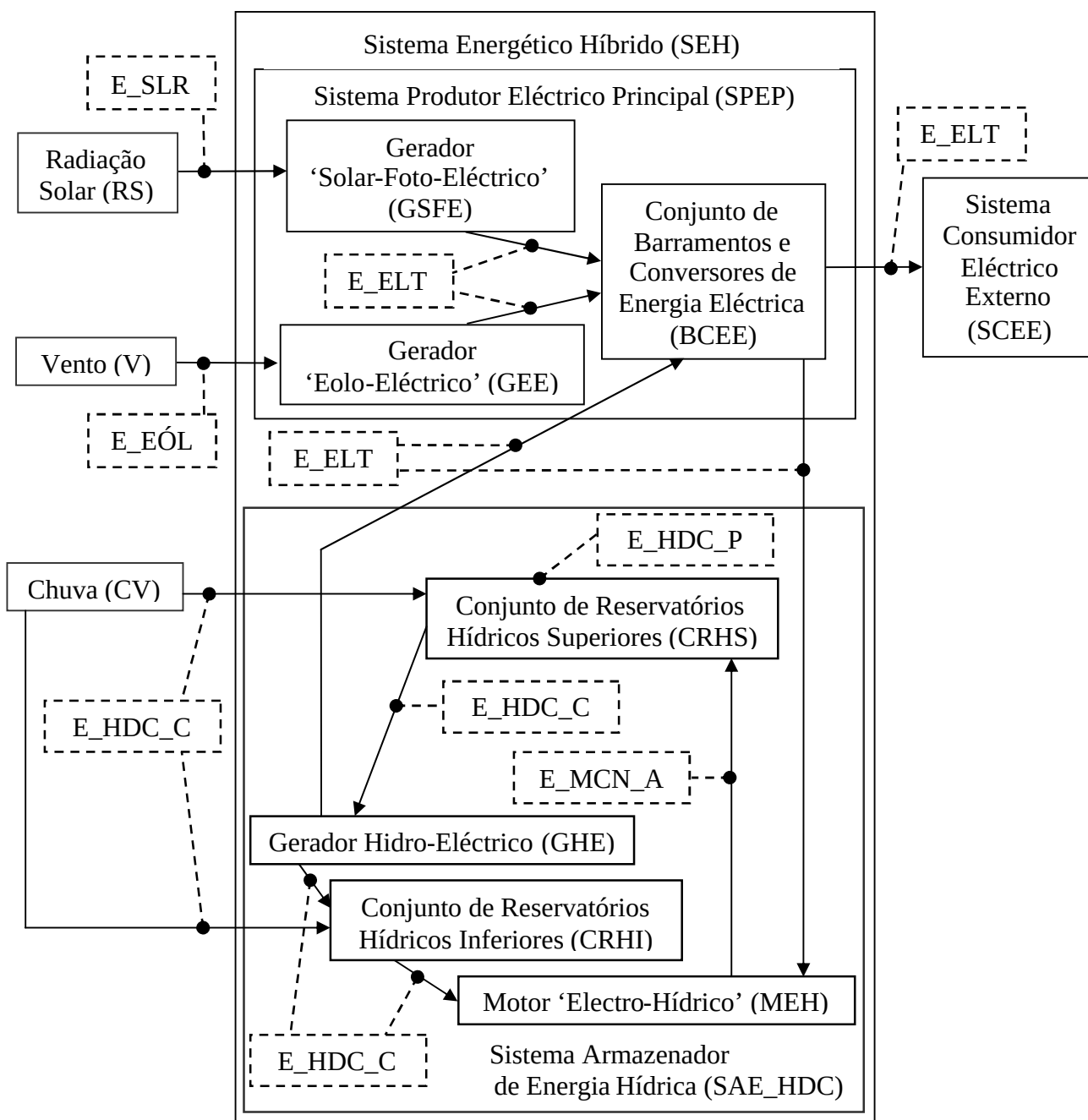


Figura 5.6: Esquema das formas-de-energia principais no SEH só com armazenamento de E_HDC

Legenda:

E_SLR → energia solar
 E_EÓL → energia eólica
 E_ELT → energia eléctrica
 E_HDC → energia hídrica, ou energia gravítica da água
 E_HDC_C → energia hídrica cinética
 E_HDC_P → energia hídrica potencial
 E_MCN_A → energia mecânica da água

5.2.2 - Esquema dos componentes principais no sistema armazenador de energia hídrica (SAE_HDC)

O sistema armazenador de energia hídrica, que está representado na figura 5.7, é constituído por:

- 1) um conjunto de reservatórios hídricos superiores;
- 2) um gerador hidro-eléctrico;
- 3) um conjunto de reservatórios hídricos inferiores;
- 4) um motor 'electro-hídrico';
- 5) equipamento de controlo.

Este sistema permite armazenar energia na forma de energia hídrica.

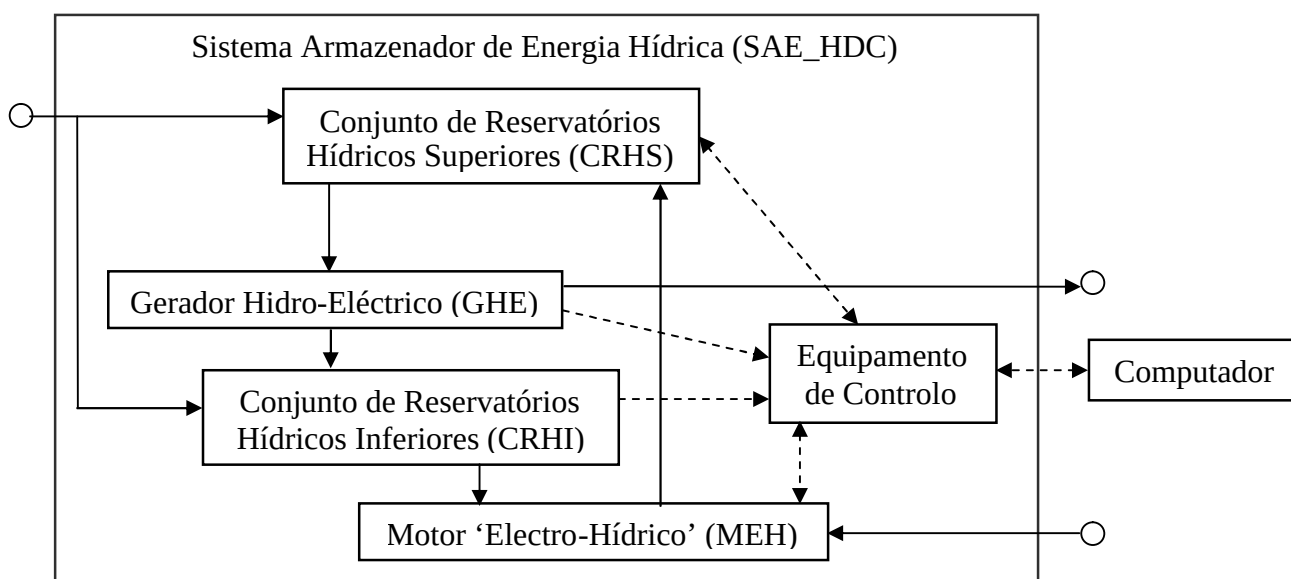


Figura 5.7: Esquema dos componentes principais no SAE_HDC

Legenda:

'————→' → fluxo de energia
 '-----→' → fluxo de informação

O conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS) permite armazenar energia hídrica potencial que está contida na massa física da água armazenada numa posição superior à do gerador hidro-eléctrico. A água armazenada é proveniente da chuva e do bombeamento de água existente no conjunto de reservatórios hídricos inferiores efectuado pelo motor 'electro-hídrico'.

Algumas designações alternativas, para o conjunto de reservatórios hídricos superiores, são:

- reservatório composto hídrico superior;
- conjunto de reservatórios de água da posição superior.

O gerador hidro-eléctrico (GHE) permite converter energia hídrica em energia eléctrica. Esta conversão energética é feita na fase de descarregamento do conjunto de reservatórios hídricos superiores, efectuando o turbinamento de água na turbina hídrica que acciona o gerador eléctrico no qual se gera electricidade.

O gerador hidro-eléctrico também se pode designar por:

- ‘aquagerador’;
- gerador eléctrico de energia hídrica;
- gerador de electricidade proveniente de corrente-de-água.

O conjunto de reservatórios hídricos inferiores (CRHI) permite armazenar água numa posição inferior à do gerador hidro-eléctrico. A água armazenada é proveniente da chuva e do turbinamento de água existente no conjunto de reservatórios hídricos superiores efectuado pelo gerador hidro-eléctrico.

Algumas designações alternativas, para o conjunto de reservatórios hídricos inferiores, são:

- reservatório composto hídrico inferior;
- conjunto de reservatórios de água da posição inferior.

O motor ‘electro-hídrico’ (MEH) permite converter energia eléctrica em energia hídrica. Na fase de carregamento do conjunto de reservatórios hídricos superiores, o motor ‘electro-hídrico’ faz o bombeamento de água a partir do conjunto de reservatórios hídricos inferiores, em que a electricidade acciona o motor eléctrico, o qual faz girar a bomba de água que move e eleva a água para uma posição superior à do gerador hidro-eléctrico.

O motor ‘electro-hídrico’ também pode ser designado por:

- motor eléctrico de bombeamento de água;
- electro-bomba de água;
- motor de corrente-de-água proveniente de electricidade.

O equipamento de controlo serve para limitar o carregamento do conjunto de reservatórios hídricos superiores não deixando ir acima do limite máximo de armazenamento hídrico e também o descarregamento não deixando ir abaixo do limite mínimo. Este equipamento de controlo é constituído por:

- uma válvula para controlo da saída de água do conjunto de reservatórios hídricos superiores;
- um dispositivo accionador do tipo liga-desliga para o motor ‘electro-hídrico’;
- dois sensores do nível de água, em que um é para o conjunto de reservatórios hídricos superiores e o outro é para o conjunto de reservatórios hídricos inferiores;
- dispositivos medidores dos fluxos de energia eléctrica que entra no motor ‘electro-hídrico’ e que sai do gerador hidro-eléctrico.

A informação obtida do equipamento de controlo pode ser enviada para um computador no qual se faz a gestão do sistema energético híbrido e se determina quais os sinais de comando a enviar para o equipamento de controlo.

5.2.3 - Determinação de fórmulas de cálculo no sistema armazenador de energia hídrica (SAE_HDC)

Para determinar a quantidade de energia hídrica potencial no conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS), utilizou-se a fórmula de energia potencial gravítica (equação 5.1) para um objecto perto da superfície terrestre.

$$E_p = m \times g \times h$$

Equação 5.1: Fórmula de energia potencial gravítica

Tendo em conta que os parâmetros da equação 5.1 têm as seguintes atribuições:

$$m = 1.000 \text{ [kg/m}^3\text{]} \times n \text{ [m]} \times R \text{ [m}^2\text{]} = 1.000 \times n \times R \text{ [kg]}$$

$$g = 9,8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$h = a_1 + a_2 = a_1 + n / 2 \text{ [m]}$$

Obtém-se como resultado a equação 5.2.

$$E_p = 9.800 \times R \times (a_1 + n / 2) \times n$$

Equação 5.2: Fórmula genérica de energia potencial gravítica para o CRHS

Legenda:

E_p → energia potencial gravítica da água

m → massa física da água

g → aceleração gravítica junto à superfície terrestre

h → altura relativa da posição da água

R → área total do CRHS

n → nível da água no CRHS

a_1 → altura entre a entrada da turbina do GHE e o fundo do CRHS

a_2 → altura entre o fundo do CRHS e o centro de massa da água

No conjunto de reservatórios hídricos superiores, pode existir cinco fluxos de água que são os seguintes:

- fluxo de água da chuva (f_1) → é um fluxo de entrada a partir do recurso energético hídrico;
- fluxo de água do bombeamento (f_2) → é um fluxo de entrada através do bombeamento de água efectuado pelo motor 'electro-hídrico' em que esta água provém do conjunto de reservatórios hídricos inferiores;
- fluxo de água do turbinamento (f_3) → é um fluxo de saída em que a água é turbinada no gerador hidro-eléctrico;
- fluxo de água do excedimento (f_4) → é um fluxo de saída quando há excesso de água no conjunto de reservatórios hídricos superiores;
- fluxo de água da evaporação (f_5) → é um fluxo de saída devido à evaporação de água no conjunto de reservatórios hídricos superiores.

Cada fluxo de água pode ser expresso em termos de quantidade de água, conforme se verifica nas equações desde 5.3 até 5.7, e de nível de água, conforme se verifica na equação 5.8, no conjunto de reservatórios hídricos superiores.

$$Q_A(f_1) = \text{Área_CRHS} \times I_PA_ST(t) \times PTCR$$

Equação 5.3: Quantidade de água do fluxo de água da chuva no CRHS

$$Q_A(f_2) = CB(t) \times DB(t)$$

Equação 5.4: Quantidade de água do fluxo de água do bombeamento no CRHS

$$Q_A(f_3) = CT(t) \times DT(t)$$

Equação 5.5: Quantidade de água do fluxo de água do turbinamento no CRHS

$$Q_A(f_4) = Q_A(f_1) \Leftarrow Q_A(CRHS) = LMX_Q_A(CRHS)$$

Equação 5.6: Quantidade de água do fluxo de água do excedimento no CRHS

$$Q_A(f_5) = \text{Área_CRHS} \times I_EA_ST(t) \times PTCR$$

Equação 5.7: Quantidade de água do fluxo de água da evaporação no CRHS

$$N_A(f_i) = Q_A(f_i) / (\text{Área_CRHS} \times 1.000 [l/m^3]) \quad \wedge i \in \{1;2;3;4;5\}$$

Equação 5.8: Nível de água de cada fluxo de água no CRHS

Legenda:

$Q_A(f_i)$ → quantidade de água do fluxo de índice 'i', expressa em [l]

$N_A(f_i)$ → nível de água do fluxo de índice 'i', expresso em [m]

Área_CRHS → área total do CRHS, expressa em [m²]

$\text{Área_CRHS} = R$

$PTCR$ → passo de tempo cronológico, expresso em [h]

$I_PA_ST(t)$ → intensidade da precipitação de água junto à superfície terrestre, em função do tempo cronológico (t), expressa em [l/m²/h]

$I_EA_ST(t)$ → intensidade da evaporação de água junto à superfície terrestre, em função do tempo cronológico (t), expressa em [l/m²/h]

$CB(t)$ → caudal de bombeamento, em função do tempo cronológico (t), expresso em [l/h]

$CT(t)$ → caudal de turbinamento, em função do tempo cronológico (t), expresso em [l/h]

$DB(t)$ → duração de bombeamento, em função do tempo cronológico (t), expressa em [h]

$DT(t)$ → duração de turbinamento, em função do tempo cronológico (t), expressa em [h]

$Q_A(CRHS)$ → quantidade de água no CRHS, expressa em [l]

$LMX_Q_A(CRHS)$ → limite máximo da quantidade de água que o CRHS pode conter, expresso em [l]

Os fluxos de água do conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS) também podem ser representados como quantidade de energia, conforme se verifica nas equações desde 5.9 até 5.12, e como potência, conforme se verifica na equação 5.13.

A partir da equação 5.2, obtém-se a quantidade de energia hídrica potencial do conjunto de reservatórios hídricos superiores em função do tempo cronológico discreto (e), que se apresenta na equação 5.9.

$$Q_E(CRHS, e) = 9.800 \times R \times (a_1 + n(e)/2) \times n(e)$$

Equação 5.9: Quantidade de energia hídrica potencial do CRHS

$$\begin{aligned} \Delta Q_E(CRHS, e) &= Q_E(CRHS, e) - Q_E(CRHS, e-1) = \\ &= 9.800 \times R \times (a_1 + n(e-1) + \Delta n(e)/2) \times \Delta n(e) \quad \wedge \Delta n(e) = n(e) - n(e-1) \end{aligned}$$

Equação 5.10: Variação da quantidade de energia hídrica potencial do CRHS entre dois períodos de tempo horários consecutivos

$$Q_E(f_i, e) = 9.800 \times R \times (a_1 + n(e-1) + \Delta n(e)/2) \times n_i(e) \quad \wedge i \in \{1;2;3;4;5\}$$

Equação 5.11: Quantidade de energia hídrica de cada fluxo de água no CRHS

$$Q_E'(f_i, e) = Q_E(f_i, e) / 3.600 \quad \wedge i \in \{1;2;3;4;5\}$$

Equação 5.12: Mudança da unidade de medida de "Joule" [J] para "Watt"-hora [W.h]

$$PTC(f_i, e) = Q_E'(f_i, e) / PTCR \quad \wedge i \in \{1; 2; 3; 4; 5\}$$

Equação 5.13: Potência hídrica de cada fluxo de água no CRHS

Legenda:

- $Q_E(\text{CRHS}, e) \rightarrow$ quantidade de energia hídrica potencial do CRHS para o período de tempo horário actual (e), expressa em [J]
 $Q_E(\text{CRHS}, e - 1) \rightarrow$ quantidade de energia hídrica potencial do CRHS para o período de tempo horário anterior (e - 1), expressa em [J]
 $\Delta Q_E(\text{CRHS}, e) \rightarrow$ variação da quantidade de energia hídrica potencial do CRHS entre dois períodos de tempo horários consecutivos, expressa em [J]
 $n(e) \rightarrow$ nível de água do CRHS para o período de tempo horário actual (e), expresso em [m]
 $n(e - 1) \rightarrow$ nível de água do CRHS para o período de tempo horário anterior (e - 1), expresso em [m]
 $\Delta n(e) \rightarrow$ variação do nível de água do CRHS entre dois períodos de tempo horários consecutivos, expresso em [m]
 $n_i(e) \rightarrow$ nível de água resultante do fluxo de água de índice 'i' no CRHS, para o período de tempo horário actual (e), expresso em [m]
 $n_i(e) = N_A(f_i, e)$
 $Q_E(f_i, e) \rightarrow$ quantidade de energia hídrica, devido ao fluxo de água de índice 'i' no CRHS, para o período de tempo horário actual (e), expressa em [J]
 $Q_E'(f_i, e) \rightarrow$ quantidade de energia hídrica, devido ao fluxo de água de índice 'i' no CRHS, para o período de tempo horário actual (e), expressa em [W.h]
 $PTC(f_i, e) \rightarrow$ potência hídrica, devido ao fluxo de água de índice 'i' no CRHS, para o período de tempo horário actual (e), expressa em [W]

Na determinação da produção eléctrica do gerador hidro-eléctrico (GHE), utilizou-se a fórmula de cálculo simplificado da potência eléctrica nominal do gerador hidro-eléctrico que está no documento «[16]» e que se apresenta na equação 5.14. O caudal nominal de turbinamento no gerador hidro-eléctrico é obtido pela equação 5.15.

$$P_N = \gamma \times Q_N \times H_b \times \eta_c \Leftrightarrow PTC_ELT_Nom(GHE) = PVA \times CT_{nom} \times A_{br} \times RE_{gl}$$

Equação 5.14: Potência eléctrica nominal produzida do GHE

$$CT_{nom} = S \times v_{nom}$$

Equação 5.15: Caudal nominal de turbinamento no GHE

Se não existir atrito no tubo entre o conjunto de reservatórios hídricos superiores e o gerador hidro-eléctrico, então haverá conservação de energia mecânica e a energia potencial da água no fundo do conjunto de reservatórios hídricos superiores será igual à energia cinética da água na entrada da turbina hídrica do gerador hidro-eléctrico, por consequência pode-se calcular a velocidade da corrente-de-água à entrada do gerador hidro-eléctrico que é dada pela equação 5.16. Substituindo alguns parâmetros da equação 5.14 por expressões das equações 5.15 e 5.16, obtém-se a equação 5.17.

$$v = \sqrt{2 \times g \times a_1}$$

Equação 5.16: Velocidade do fluxo de água à entrada do GHE

$$PTC_ELT_Nom(GHE) = PVA \times RE_{gl} \times a_1 \times S \times \sqrt{2 \times g \times a_1}$$

Equação 5.17: Potência eléctrica nominal do GHE, adaptada ao SAE_HDC

Legenda:

P_N → potência eléctrica nominal do GHE, expressa em [W]

$$P_N = PTC_ELT_Nom(GHE)$$

γ → peso volúmico da água, expresso em [N/m³]

$$\gamma = PVA = 1.000 \times g = 9.800 \text{ [N/m}^3\text{]}$$

Q_N → caudal nominal de turbinamento no GHE, expresso em [m³/s]

$$Q_N = CT_{nom}$$

H_b → altura de queda bruta correspondente ao desnível entre montante e jusante, expressa em [m]

$$H_b = A_{br} = a_1$$

η_c → rendimento energético global de todo o aproveitamento hidro-eléctrico, expresso em [%]

$$\eta_c = RE_{gl}$$

S → área de secção transversal do tubo entre o CRHS e o GHE, expressa em [m²]

v_{nom} → velocidade nominal do fluxo de água à entrada do GHE, expressa em [m/s]

Os fluxos de água, que podem existir no conjunto de reservatórios hídricos inferiores (CRHI), são os seguintes:

- fluxo de água da chuva (f_1) → é um fluxo de entrada a partir do recurso energético hídrico;
- fluxo de água do turbinamento (f_2) → é um fluxo de entrada cuja água provém do conjunto de reservatórios hídricos superiores e efectua o turbinamento no gerador hidro-eléctrico;
- fluxo de água do bombeamento (f_3) → é um fluxo de saída em que a água é captada para o bombeamento no motor 'electro-hídrico';
- fluxo de água do excedimento (f_4) → é um fluxo de saída quando há excesso de água no conjunto de reservatórios hídricos inferiores;
- fluxo de água da evaporação (f_5) → é um fluxo de saída devido à evaporação de água no conjunto de reservatórios hídricos inferiores.

Os fluxos de água existentes no conjunto de reservatórios hídricos inferiores podem ser representados em termos de quantidade de água, tal como se pode conferir nas equações desde 5.18 até 5.22, e de nível de água, tal como se pode conferir na equação 5.23.

$$Q_A(f_1) = \acute{A}rea_CRHI \times I_PA_ST(t) \times PTCR$$

Equação 5.18: Quantidade de água do fluxo de água da chuva no CRHI

$$Q_A(f_2) = CT(t) \times DT(t)$$

Equação 5.19: Quantidade de água do fluxo de água do turbinamento no CRHI

$$Q_A(f_3) = CB(t) \times DB(t)$$

Equação 5.20: Quantidade de água do fluxo de água do bombeamento no CRHI

$$Q_A(f_4) = Q_A(f_1) \Leftarrow Q_A(CRHI) = LMX_Q_A(CRHI)$$

Equação 5.21: Quantidade de água do fluxo de água do excedimento no CRHI

$$Q_A(f_5) = \acute{A}rea_CRHI \times I_EA_ST(t) \times PTCR$$

Equação 5.22: Quantidade de água do fluxo de água da evaporação no CRHI

$$N_A(f_i) = Q_A(f_i) / (\acute{A}rea_CRHI \times 1.000 [l/m^3]) \wedge i \in \{1;2;3;4;5\}$$

Equação 5.23: Nível de água de cada fluxo de água no CRHI

Legenda:

$Q_A(f_i)$ → quantidade de água do fluxo de índice 'i', expressa em [l]

$N_A(f_i)$ → nível de água do fluxo de índice 'i', expresso em [m]

Área_CRHI → área total do CRHI, expressa em [m²]

$Q_A(\text{CRHI})$ → quantidade de água no CRHI, expressa em [l]

$\text{LMX_Q_A}(\text{CRHI})$ → limite máximo da quantidade de água que o CRHI pode conter, expresso em [l]

Para determinação do consumo eléctrico do motor 'electro-hídrico' (MEH), usou-se a equação 5.14 fazendo algumas alterações para adaptar ao motor 'electro-hídrico', e uma destas alterações é a inversão do factor de rendimento energético, obtendo-se como resultado a equação 5.24.

$$PTC_ELT_Nom(MEH) = PVA \times CB_{nom} \times b_1 \times (1/RE_{gl})$$

Equação 5.24: Potência eléctrica nominal consumida do MEH

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 - 2 \times g \times b_1}$$

Equação 5.25: Velocidade do fluxo de água no topo e à entrada do CRHS

Tendo em conta equação 5.25, é necessário que exista uma velocidade mínima do fluxo de água à saída do motor 'electro-hídrico' para que a água seja elevada até ao topo do conjunto de reservatórios hídricos superiores. Essa velocidade mínima é apresentada na equação 5.26. Substituindo alguns parâmetros da equação 5.24 por expressões da equação 5.26 e do caudal nominal de bombeamento, obtém-se a equação 5.27.

$$v_{1,min} = \sqrt{2 \times g \times b_1}$$

Equação 5.26: Velocidade mínima do fluxo de água à saída do MEH

$$PTC_ELT_Nom_Min(MEH) = PVA \times b_1 \times S \times \sqrt{2 \times g \times b_1} / RE_{gl}$$

Equação 5.27: Potência eléctrica nominal mínima consumida para o MEH

Legenda:

$PTC_ELT_Nom(MEH)$ → potência eléctrica nominal consumida do MEH, expressa em [W]

$PTC_ELT_Nom_Min(MEH)$ → potência eléctrica nominal mínima consumida para que o MEH bombeie água para o topo do CRHS, expressa em [W]

PVA → peso volúmico da água, expresso em [N/m³] = [kg/(m².s²)]

$PVA = 1.000 \times g = 9.800 \text{ [N/m}^3\text{]}$

CB_{nom} → caudal nominal de bombeamento no MEH, expresso em [m³/s]

b_1 → altura entre a saída do MEH e o topo do CRHS, expressa em [m]

v_1 → velocidade do fluxo de água à saída do MEH, expressa em [m/s]

$v_{1,min}$ → velocidade mínima do fluxo de água à saída do MEH para que a água atinja o topo do CRHS, expressa em [m/s]

v_2 → velocidade do fluxo de água no topo e à entrada do CRHS, expressa em [m/s]

RE_{gl} → rendimento energético global, expresso em [%]

S → área de secção transversal do tubo entre o MEH e o CRHS, expressa em [m²]

5.2.4 - Algoritmos simplificados para gestão e controlo do sistema armazenador de energia hídrica (SAE_HDC)

5.2.4.1 - Em linguagem informal

O algoritmo simplificado em linguagem informal, que permite gerir e controlar o sistema armazenador de energia hídrica, tem as seguintes instruções:

- 1) Calcular a produção eléctrica de todos os geradores eléctricos do SPEP, os quais são o GSFE e o GEE, e atribuir o resultado a PE_T1.
- 2) Se PE_T1 é maior do que o consumo eléctrico do SCEE, então verificar se existe água no CRHI e o CRHS não está cheio, caso as condições sejam verdadeiras, então ligar o MEH para bombear água e mantê-lo ligado enquanto as condições forem verdadeiras, caso contrário desligar o MEH.
- 3) Se PE_T1 é menor do que o consumo eléctrico do SCEE, então verificar se existe água no CRHS, caso a condição seja verdadeira, então abrir a válvula de saída do CRHS para turbinar água no GHE gerando electricidade e mantê-la aberta enquanto a condição for verdadeira, caso contrário fechar a válvula de saída do CRHS.

5.2.4.2 - Em fluxograma

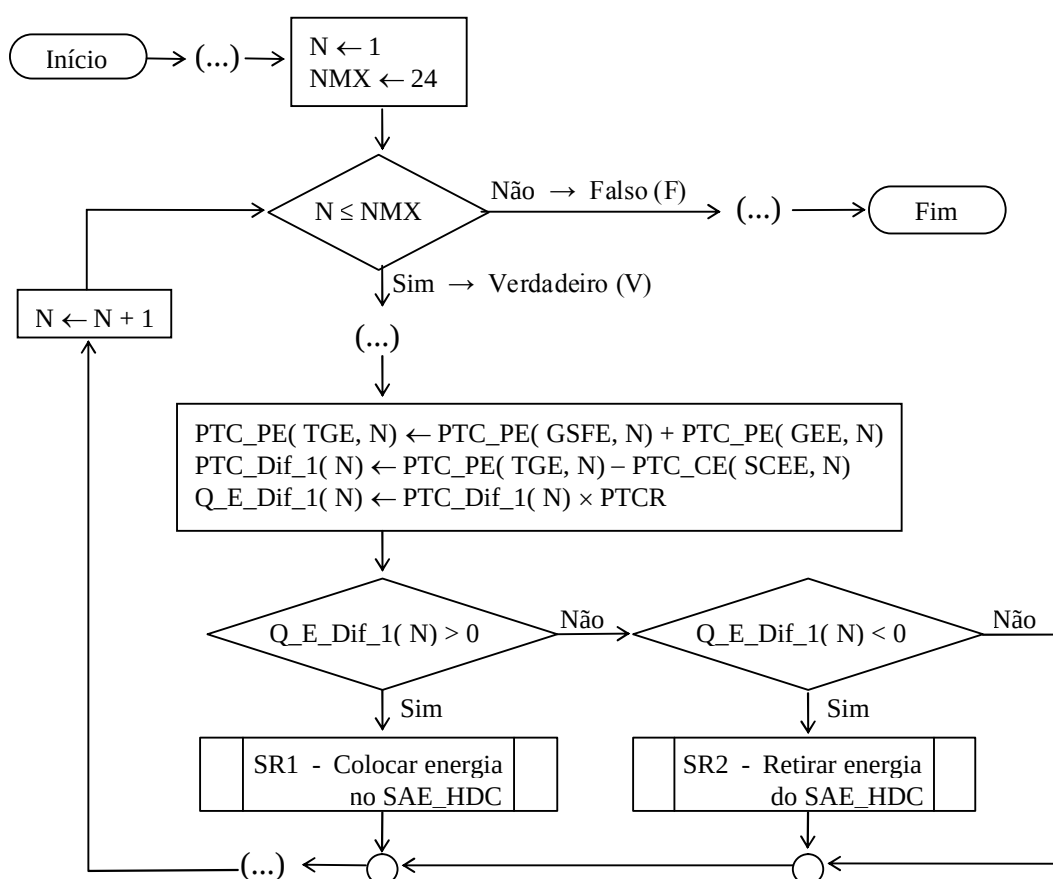


Figura 5.8: Fluxograma da rotina principal para o uso do SAE_HDC

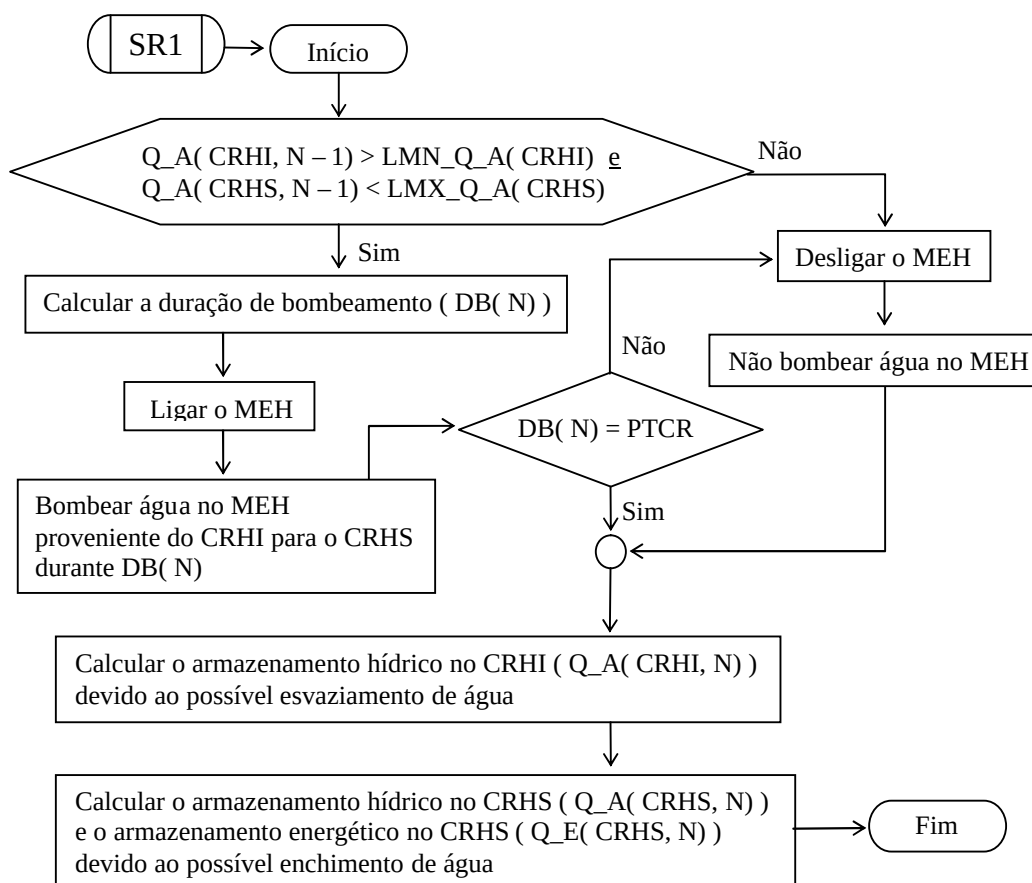


Figura 5.9: Fluxograma da sub-rotina 1 para colocar energia no SAE_HDC

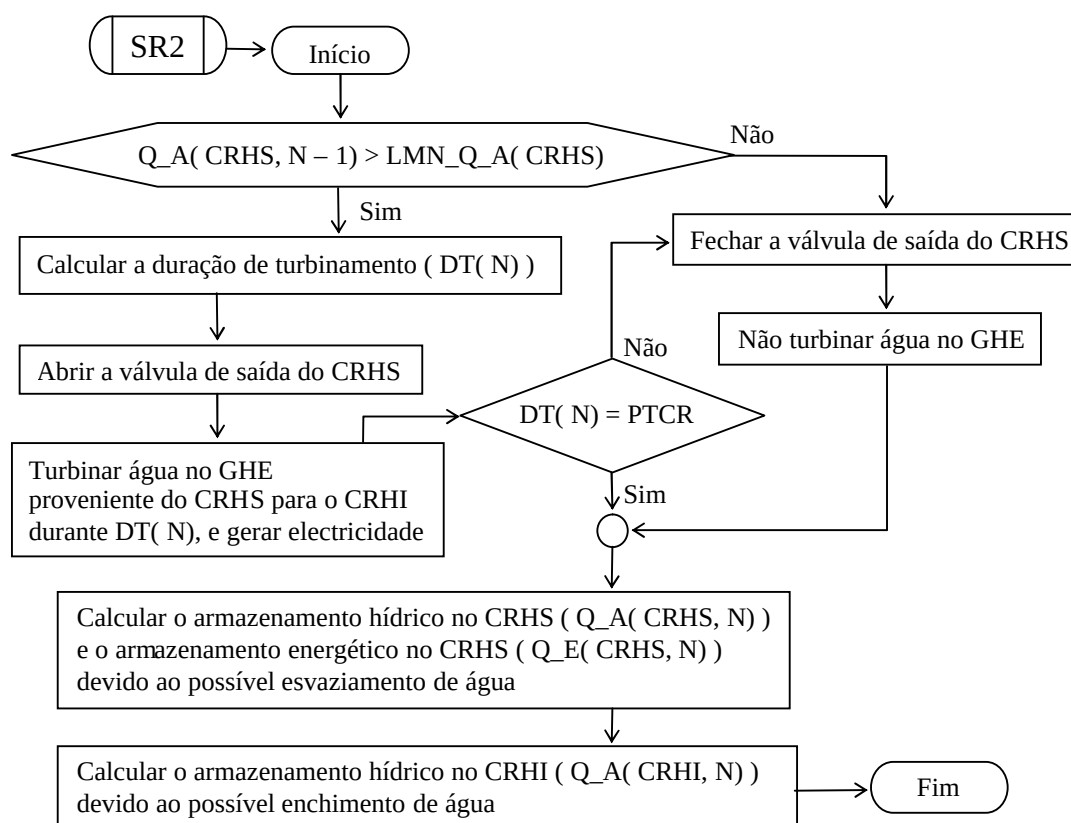


Figura 5.10: Fluxograma da sub-rotina 2 para retirar energia do SAE_HDC

Legenda:

[Uma parte da legenda é igual à parte 3.2 do sub-capítulo 5.1.]

DB(N) → duração de bombeamento, em função do tempo cronológico discreto ($t \in \text{PTH}(N)$), expressa em hora [h]

DT(N) → duração de turbinamento, em função do tempo cronológico discreto ($t \in \text{PTH}(N)$), expressa em hora [h]

Q_A(CRHI, N - 1) → quantidade de água no CRHI, em função do tempo cronológico discreto no período anterior ($t \in \text{PTH}(N - 1)$)

Q_A(CRHI, N) → quantidade de água no CRHI, em função do tempo cronológico discreto no período actual ($t \in \text{PTH}(N)$)

LMN_Q_A(CRHI) → limite mínimo da quantidade de água no CRHI

Q_A(CRHS, N - 1) → quantidade de água no CRHS, em função do tempo cronológico discreto no período anterior ($t \in \text{PTH}(N - 1)$)

Q_A(CRHS, N) → quantidade de água no CRHS, em função do tempo cronológico discreto no período actual ($t \in \text{PTH}(N)$)

LMN_Q_A(CRHS) → limite mínimo da quantidade de água no CRHS

LMX_Q_A(CRHS) → limite máximo da quantidade de água no CRHS

Q_E(CRHS, N) → quantidade de energia no CRHS, em função do tempo cronológico discreto no período actual ($t \in \text{PTH}(N)$)

As quantidades de energia estão expressas em “Watt”-hora [W.h].

As quantidades de água estão expressas em litro [l].

Os algoritmos simplificados em fluxograma, que permitem gerir e controlar o sistema armazenador de energia hídrica (SAE_HDC), representam o fluxo de execução de acções:

- numa parte da rotina principal, relativa ao SAE_HDC, para o funcionamento diário do sistema energético híbrido (figura 5.8);
- na sub-rotina 1 para colocar energia no SAE_HDC (figura 5.9);
- na sub-rotina 2 para retirar energia do SAE_HDC (figura 5.10).

5.2.5 - Implementação em folhas-de-cálculo do programa “Excel”

A simulação da gestão operacional do sistema energético híbrido com o sistema armazenador de energia hídrica foi implementada em folhas-de-cálculo do programa “Excel”, e o período de tempo simulado tem a duração de um dia. Nesta simulação, existem algumas dificuldades na modelização do gerador hidro-eléctrico e do motor ‘electro-hídrico’ e na determinação de fórmulas de cálculo para os respectivos parâmetros. Alguns dos problemas existentes na simulação são:

- as transições de estado de funcionamento do gerador hidro-eléctrico e do motor ‘electro-hídrico’ podem ocorrer em qualquer instante de um período de tempo horário elementar;
- a potência da produção eléctrica do gerador hidro-eléctrico pode variar em função da velocidade de turbinamento;
- o motor ‘electro-hídrico’ precisa de uma potência eléctrica mínima para funcionar, e se existir electricidade excedente do sistema produtor eléctrico principal que não tenha a potência mínima, então esta electricidade é desperdiçada porque não pode ser aproveitada para o armazenamento energético.

Para evitar esses problemas, é necessário acrescentar, ao sistema energético híbrido, um sistema armazenador de energia ‘electrolítica’, o qual serve como um compensador das excedências e das insuficiências referentes à produção eléctrica e ao consumo eléctrico que ocorrem no sistema armazenador de energia hídrica.

5.3 - Estudo da gestão operacional diária de um SEH com armazenamento de energia ‘electrolítica’ (E_ELO) e de energia hídrica (E_HDC)

5.3.1 - Esquema das formas-de-energia principais no SEH

As formas energéticas principais no sistema energético híbrido (SEH), que é apresentado no esquema da figura 5.11, são:

- de entrada: a energia solar, a energia eólica e a energia hídrica;
- de armazenamento energético: a energia ‘electrolítica’ e a energia hídrica;
- de saída útil: a energia eléctrica.

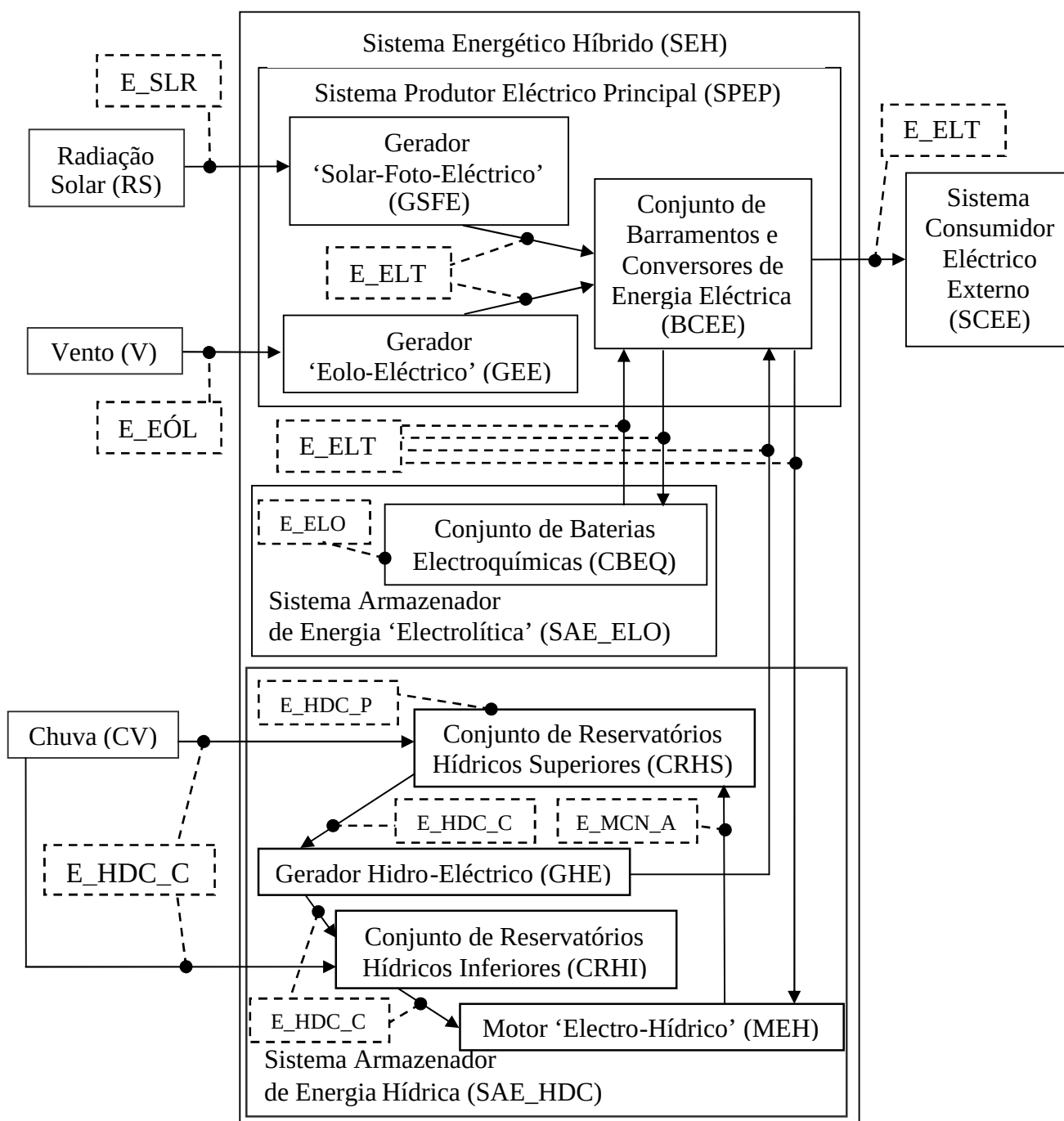


Figura 5.11: Esquema das formas-de-energia principais no SEH com armazenamento de E_ELO e de E_HDC

Legenda:

- E_SLR → energia solar
- E_EÓL → energia eólica
- E_ELT → energia eléctrica
- E_ELO → energia ‘electrolítica’, ou energia electroquímica do electrólito
- E_HDC → energia hídrica, ou energia gravítica da água
- E_HDC_C → energia hídrica cinética
- E_HDC_P → energia hídrica potencial
- E_MCN_A → energia mecânica da água

5.3.2 - Algoritmos simplificados para gestão e controlo do sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ e de energia hídrica (SAE_ELO_HDC)

5.3.2.1 - Em linguagem informal

O algoritmo simplificado em linguagem informal, que permite gerir e controlar o sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ e de energia hídrica, tem as seguintes instruções:

- 1) Calcular a produção eléctrica de todos os geradores eléctricos do SPEP, os quais são o GSFE e o GEE, e atribuir o resultado a PE_T1.
- 2) Se PE_T1 é maior do que o consumo eléctrico do SCEE, então:
 - 2.1) Calcular D2 que é a diferença entre a potência da produção eléctrica excedente e a potência nominal de consumo eléctrico do MEH;
 - 2.2) Se D2 é menor do que 0, então calcular a produção eléctrica do CBEQ para a compensação da potência nominal de consumo eléctrico do MEH, não descarregando o CBEQ abaixo do seu limite mínimo de armazenamento energético;
 - 2.3) Calcular a possibilidade de consumo eléctrico do MEH, verificando no caso de D2 ser maior ou igual a 0 e no caso contrário;
 - 2.4) Se existe água no CRHI acima da quantidade de água mínima para o bombeamento, e a quantidade de água existente no CRHS é menor do que o limite máximo para bombeamento, e existe potência eléctrica mínima para que seja possível o funcionamento do MEH,
 - então ligar o MEH e bombear água do CRHI para o CRHS,
 - senão desligar o MEH e não bombear água;
 - 2.5) Calcular o armazenamento hídrico no CRHI, e o armazenamento hídrico e o armazenamento energético no CRHS.
- 3) Se PE_T1 é menor do que o consumo eléctrico do SCEE, então:
 - 3.1) Calcular a soma da produção eléctrica insuficiente com a potência nominal de produção eléctrica do GHE, atribuindo o valor a S1;
 - 3.2) Se S1 é maior do que 0, então calcular o consumo eléctrico do CBEQ para a compensação da potência nominal de produção eléctrica do GHE;
 - 3.3) Se S1 é menor do que 0, então calcular a produção eléctrica do CBEQ para a compensação da potência nominal de produção eléctrica do GHE;
 - 3.4) Calcular a possibilidade de produção eléctrica do GHE, verificando no caso de S1 ser menor ou igual a 0 e no caso contrário;
 - 3.5) Se existe água no CRHS acima do limite mínimo para o turbinamento e existe a possibilidade de produção eléctrica do GHE,
 - então abrir a válvula de saída do CRHS e turbinar água no GHE proveniente do CRHS para o CRHI,
 - senão fechar a válvula de saída do CRHS e não turbinar água no GHE;
 - 3.6) Calcular o armazenamento hídrico e o armazenamento energético no CRHS, e o armazenamento hídrico no CRHI.

- 4) Calcular o saldo de energia eléctrica após a utilização do SAE_HDC, e atribuir o resultado a S.
- 5) Se S é maior do que 0, significa que existe excesso de energia eléctrica, então:
 - 5.1) Calcular o consumo eléctrico do CBEQ, não indo acima do limite máximo de armazenamento energético;
 - 5.2) Calcular o armazenamento energético do CBEQ.
- 6) Se S é menor do que 0, significa que existe escassez de energia eléctrica, então:
 - 6.1) Calcular a produção eléctrica do CBEQ, não indo abaixo do limite mínimo de armazenamento energético;
 - 6.2) Calcular o armazenamento energético do CBEQ.

5.3.2.2 - Em fluxograma

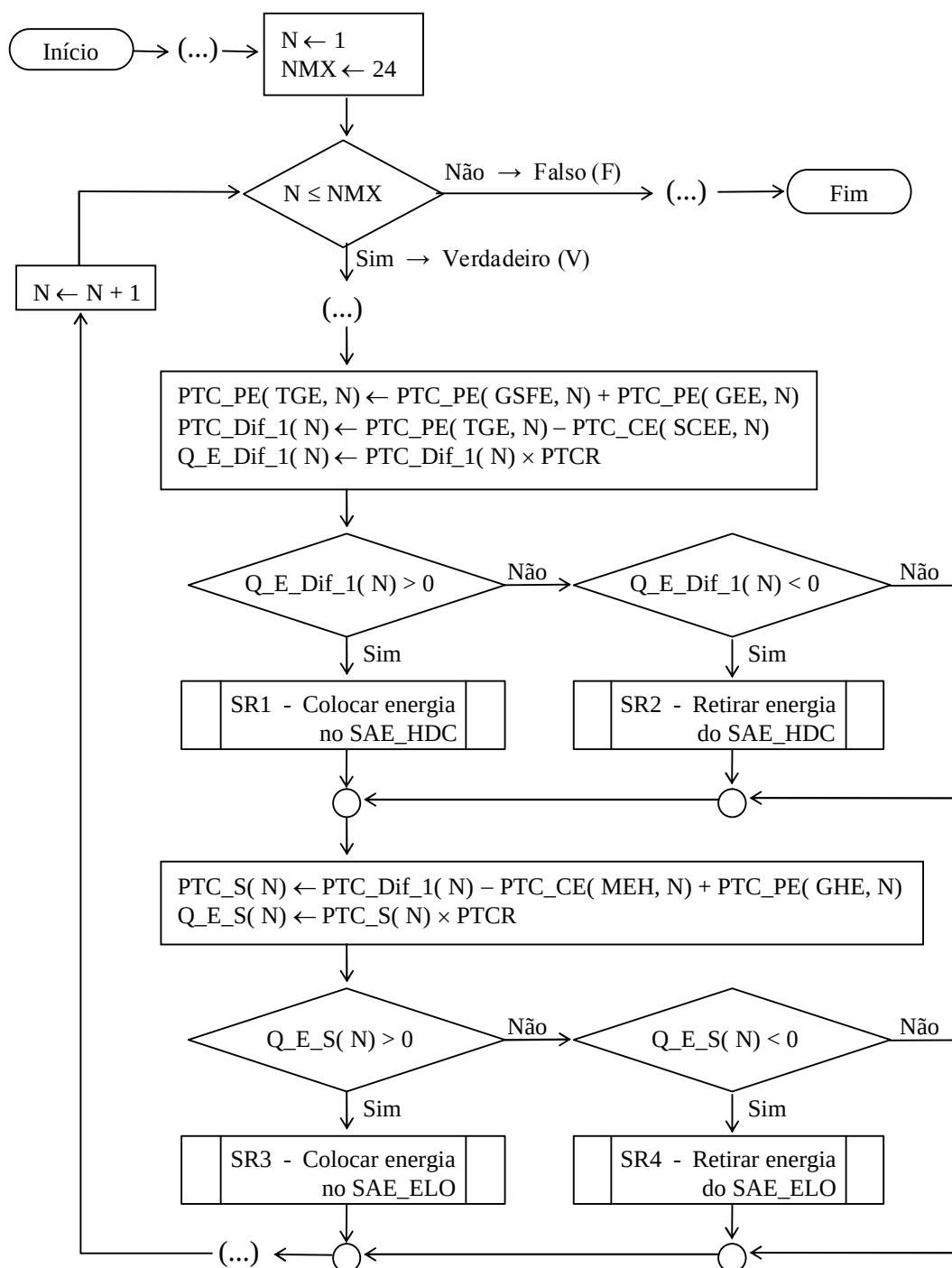


Figura 5.12: Fluxograma da rotina principal para o uso do SAE_ELO e do SAE_HDC

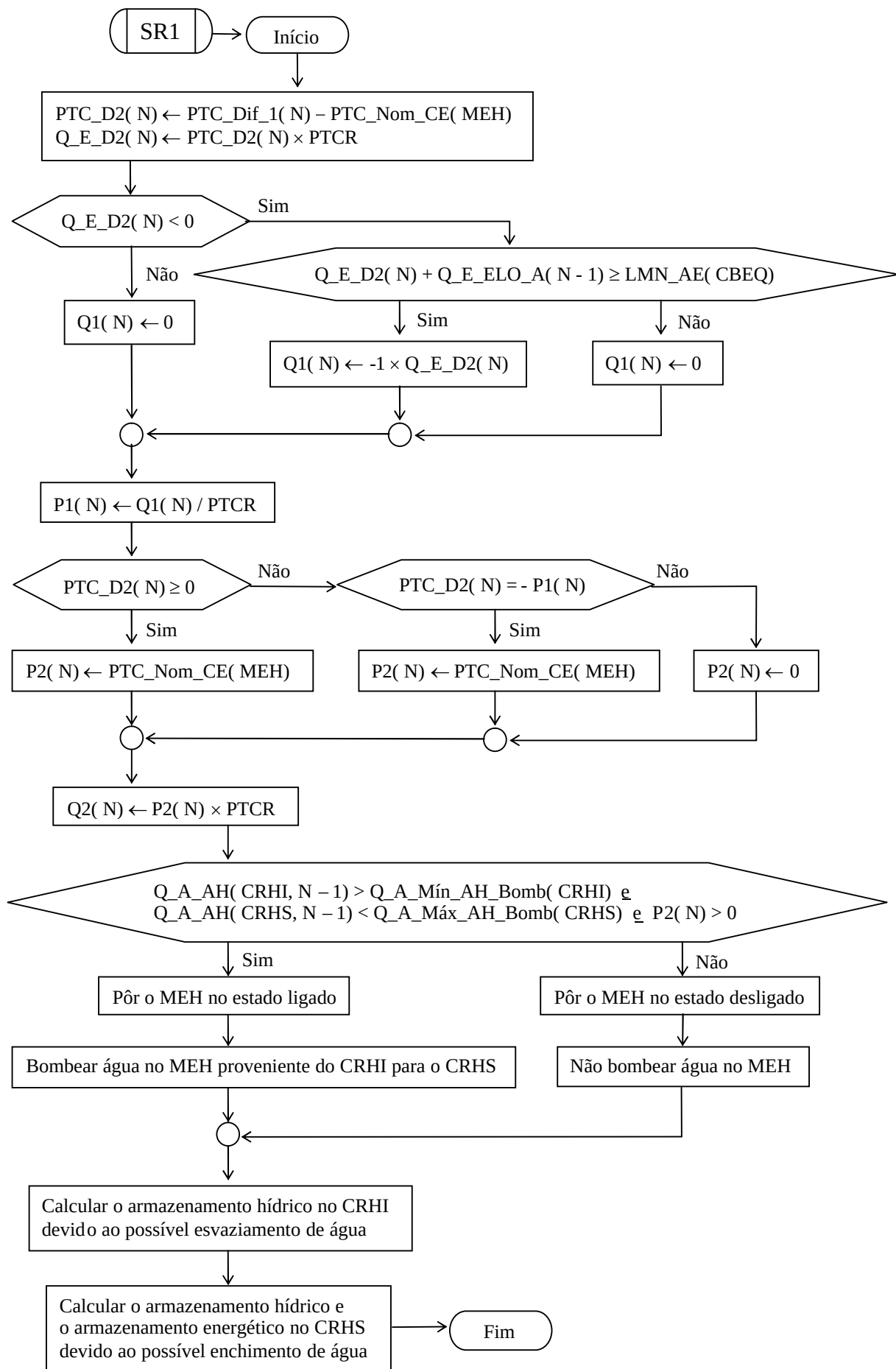


Figura 5.13: Fluxograma da sub-rotina 1 para colocar energia no SAE_HDC

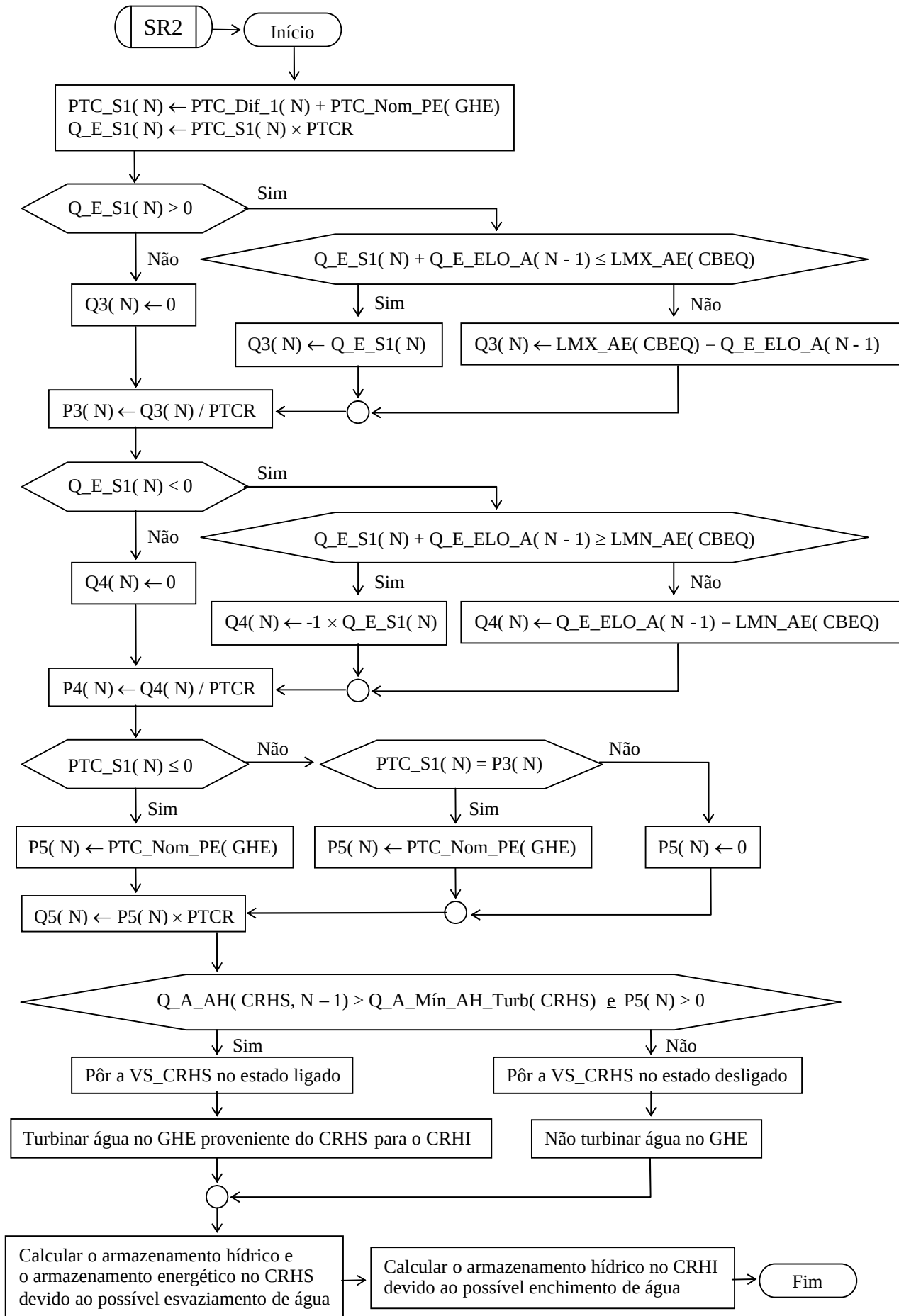


Figura 5.14: Fluxograma da sub-rotina 2 para retirar energia do SAE_HDC

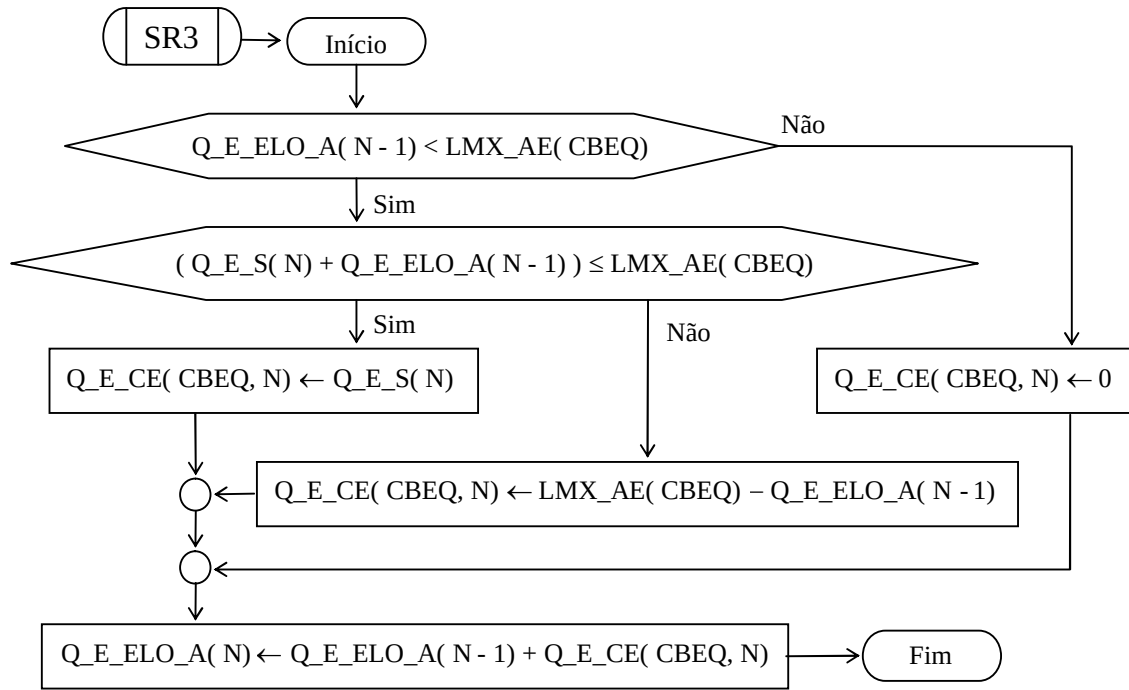


Figura 5.15: Fluxograma da sub-rotina 3 para colocar energia no SAE_ELO

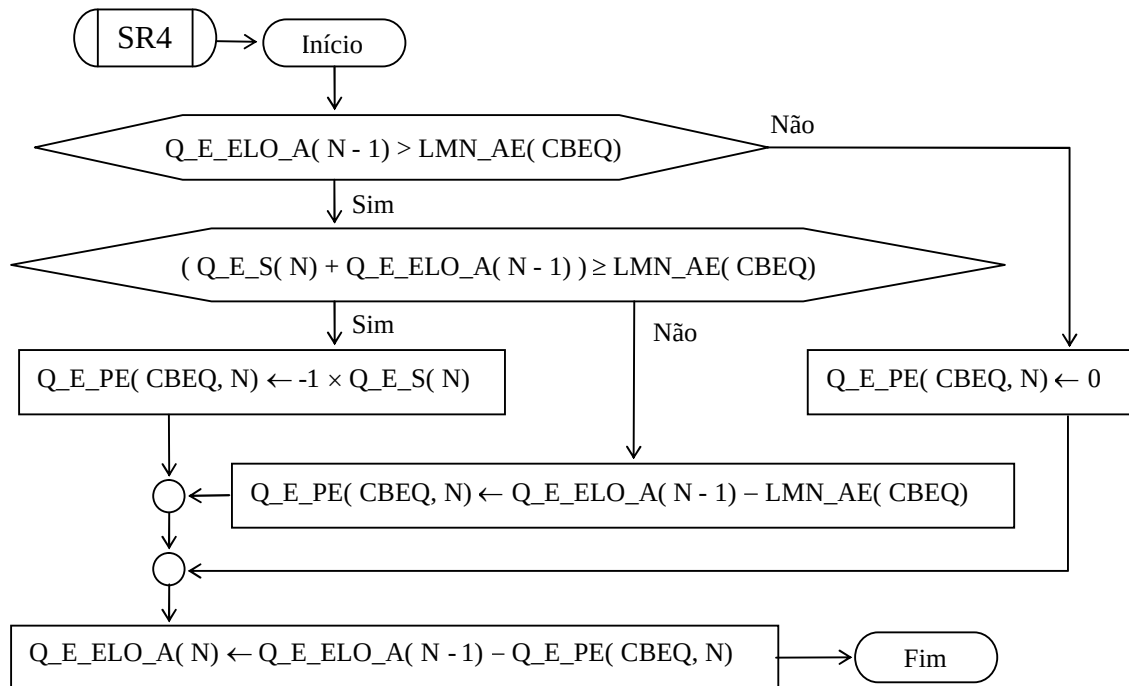


Figura 5.16: Fluxograma da sub-rotina 4 para retirar energia do SAE_ELO

Legenda:

[Uma parte da legenda é igual à parte 3.2 do sub-capítulo 5.1.]

PTC_D2(N) → potência da diferença entre PTC_Dif_1(N) e PTC_Nom_CE(MEH)

Q_E_D2(N) → quantidade de energia correspondente a PTC_D2(N)

PTC_S1(N) → potência da soma de PTC_Dif_1(N) com PTC_Nom_PE(GHE)

Q_E_S1(N) → quantidade de energia correspondente a PTC_S1(N)

PTC_S(N) → potência do saldo de energia eléctrica após a utilização do SAE_HDC, em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$)

$Q_E_S(N) \rightarrow$ quantidade de energia correspondente a $PTC_S(N)$
 $PTC_Nom_CE(MEH) \rightarrow$ potência nominal de consumo eléctrico do MEH
 $PTC_CE(MEH, N) \rightarrow$ potência de consumo eléctrico do MEH, em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$)
 $PTC_Nom_PE(GHE) \rightarrow$ potência nominal de produção eléctrica do GHE
 $PTC_PE(GHE, N) \rightarrow$ potência de produção eléctrica do GHE, em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$)
 $P1(N) \rightarrow$ potência correspondente a $Q1(N)$
 $Q1(N) \rightarrow$ quantidade de energia da produção eléctrica do CBEQ para a compensação da potência nominal de consumo eléctrico do MEH, em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$)
 $P2(N) \rightarrow$ potência da possibilidade de consumo eléctrico do MEH, em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$)
 $Q2(N) \rightarrow$ quantidade de energia correspondente a $P2(N)$
 $P3(N) \rightarrow$ potência correspondente a $Q3(N)$
 $Q3(N) \rightarrow$ quantidade de energia do consumo eléctrico do CBEQ para a compensação da potência nominal de produção eléctrica do GHE, em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$)
 $P4(N) \rightarrow$ potência correspondente a $Q4(N)$
 $Q4(N) \rightarrow$ quantidade de energia da produção eléctrica do CBEQ para a compensação da potência nominal de produção eléctrica do GHE, em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$)
 $P5(N) \rightarrow$ potência da possibilidade de produção eléctrica do GHE, em função do tempo cronológico discreto ($t \in PTH(N)$)
 $Q5(N) \rightarrow$ quantidade de energia correspondente a $P5(N)$
 $Q_A_AH(CRHI, N - 1) \rightarrow$ quantidade de água do armazenamento hídrico no CRHI, em função do tempo cronológico discreto no período anterior ($t \in PTH(N - 1)$)
 $Q_A_Mín_AH_Bomb(CRHI) \rightarrow$ quantidade de água mínima do armazenamento hídrico no CRHI para efectuar o bombeamento de água
 $Q_A_AH(CRHS, N - 1) \rightarrow$ quantidade de água do armazenamento hídrico no CRHS, em função do tempo cronológico discreto no período anterior ($t \in PTH(N - 1)$)
 $Q_A_Máx_AH_Bomb(CRHS) \rightarrow$ quantidade de água máxima do armazenamento hídrico no CRHS para efectuar o bombeamento de água
 $Q_A_Mín_AH_Turb(CRHS) \rightarrow$ quantidade de água mínima do armazenamento hídrico no CRHS para efectuar o turbinamento de água
 $VS_CRHS \rightarrow$ válvula de saída do CRHS
 As potências estão expressas em “Watt” [W].
 As quantidades de energia estão expressas em “Watt”-hora [W.h].
 As quantidades de água estão expressas em litro [l].

Os algoritmos simplificados em fluxograma, que permitem gerir e controlar o sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ e de energia hídrica (SAE_ELO_HDC), representam o fluxo de execução de acções:

- numa parte da rotina principal, relativa ao SAE_HDC e ao SAE_ELO, para o funcionamento diário do sistema energético híbrido (figura 5.12);
- na sub-rotina 1 para colocar energia no SAE_HDC (figura 5.13);
- na sub-rotina 2 para retirar energia do SAE_HDC (figura 5.14);
- na sub-rotina 3 para colocar energia no SAE_ELO (figura 5.15);
- na sub-rotina 4 para retirar energia do SAE_ELO (figura 5.16).

5.3.3 - Implementação em folhas-de-cálculo do programa “Excel”

Para o sistema energético híbrido com o sistema armazenador de energia hídrica e o sistema armazenador de energia ‘electrolítica’, foi feita a implementação da simulação da gestão operacional diária tendo por base a implementação do sub-capítulo 5.1 e a do sub-capítulo 5.2. Foi necessário fazer adaptações às implementações anteriores para a junção dos dois sistemas armazenadores de energia, e acrescentar algumas folhas-de-cálculo para os resultados do sistema armazenador de energia hídrica.

Para calcular os parâmetros do sistema armazenador de energia hídrica, considerou-se na respectiva folha-de-cálculo vários parâmetros relacionados com:

- cinco fluxos de água para o conjunto de reservatórios hídricos superiores e outros cinco para o conjunto de reservatórios hídricos inferiores, devido à chuva, ao bombeamento, ao turbinamento, ao excedimento, e à evaporação;
- o bombeamento de água no motor ‘electro-hídrico’, movendo-a do conjunto de reservatórios hídricos inferiores para o conjunto de reservatórios hídricos superiores;
- o turbinamento de água no gerador hidro-eléctrico, sendo movida do conjunto de reservatórios hídricos superiores para o conjunto de reservatórios hídricos inferiores, por acção da gravidade terrestre;
- os fluxos de água totais e o armazenamento hídrico no conjunto de reservatórios hídricos inferiores;
- os fluxos de água totais, o armazenamento hídrico e o armazenamento energético no conjunto de reservatórios hídricos superiores.

5.3.4 - Dados e resultados da gestão operacional diária

Na gestão operacional diária, considerou-se duas configurações do sistema energético híbrido que tem componentes iguais aos existentes no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Numa das configurações de sistema energético híbrido, o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ tem uma ligação directa ao conjunto de baterias electroquímicas, e na outra configuração, o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ tem uma ligação indirecta ao conjunto de baterias electroquímicas através de um seguidor do ponto de potência máxima.

Os dados dos parâmetros gerais são iguais aos da parte 5.2 do sub-capítulo 5.1, para a simulação da gestão operacional e para os seguintes componentes do sistema energético:

- gerador ‘solar-foto-eléctrico’;
- gerador ‘eolo-eléctrico’;
- conjunto de baterias electroquímicas;
- sistema consumidor eléctrico externo.

Os dados dos parâmetros gerais dos componentes do sistema armazenador de energia hídrica (SAE_HDC) são:

- 1) para o gerador hidro-eléctrico (GHE):
 - 1.1) potência nominal de produção eléctrica do GHE: 177 [W];
 - 1.2) rendimento energético nominal do GHE: 75 [%];
 - 1.3) distância na vertical entre o GHE e o solo: 2,000 [m];
 - 1.4) diâmetro de secção transversal do tubo de entrada no GHE: 0,012890 [m];
 - 1.5) área de secção transversal do tubo de entrada no GHE: 0,000130 [m²];
 - 1.6) velocidade nominal do turbinamento no GHE: 15,344 [m/s];
 - 1.7) caudal de turbinamento nominal no GHE: 7.208,4 [l/h] = 0,002002331 [m³/s].
- 2) para o conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS):
 - 2.1) número de reservatórios hídricos superiores: 100;

- 2.2) altura de um reservatório hídrico superior (RHS): 1 [m];
- 2.3) área de um RHS: 1 [m²];
- 2.4) volume de um RHS: 1 [m³];
- 2.5) área do CRHS: 100 [m²];
- 2.6) volume do CRHS: 100 [m³];
- 2.7) percentagem do limite mínimo de armazenamento hídrico em relação ao limite máximo: 0,000 [%];
- 2.8) quantidade de água do limite máximo de armazenamento hídrico no CRHS: 100.000 [l];
- 2.9) nível de água do limite máximo de armazenamento hídrico no CRHS: 1,000000 [m];
- 2.10) quantidade de água do limite mínimo de armazenamento hídrico no CRHS: 0 [l];
- 2.11) nível de água do limite mínimo de armazenamento hídrico no CRHS: 0,000000 [m];
- 2.12) quantidade de água do armazenamento hídrico no CRHS para o início da simulação: 50.000 [l];
- 2.13) nível de água do armazenamento hídrico no CRHS para o início da simulação: 0,500000 [m];
- 2.14) distância na vertical entre o fundo do CRHS e o solo: 14,000 [m];
- 2.15) quantidade de energia do limite máximo de armazenamento energético no CRHS: 3.406 [W.h];
- 2.16) quantidade de energia do limite mínimo de armazenamento energético no CRHS: 0 [W.h];
- 2.17) quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS para o instante de tempo inicial da simulação: 1.669 [W.h].
- 3) para o conjunto de reservatórios hídricos inferiores (CRHI):
 - 3.1) número de reservatórios hídricos superiores: 100;
 - 3.2) altura de um reservatório hídrico superior (RHI): 1 [m];
 - 3.3) área de um RHI: 1 [m²];
 - 3.4) volume de um RHI: 1 [m³];
 - 3.5) área do CRHI: 100 [m²];
 - 3.6) volume do CRHI: 100 [m³];
 - 3.7) percentagem do limite mínimo de armazenamento hídrico em relação ao limite máximo: 0,000 [%];
 - 3.8) quantidade de água do limite máximo de armazenamento hídrico no CRHI: 100.000 [l];
 - 3.9) nível de água do limite máximo de armazenamento hídrico no CRHI: 1,000000 [m];
 - 3.10) quantidade de água do limite mínimo de armazenamento hídrico no CRHI: 0 [l];
 - 3.11) nível de água do limite mínimo de armazenamento hídrico no CRHI: 0,000000 [m];
 - 3.12) quantidade de água do armazenamento hídrico no CRHI para o início da simulação: 50.000 [l];
 - 3.13) nível de água do armazenamento hídrico no CRHI para o início da simulação: 0,500000 [m];
 - 3.14) distância na vertical entre o fundo do CRHI e o solo: 0,750 [m].
- 4) para o motor 'electro-hídrico' (MEH):
 - 4.1) potência nominal de consumo eléctrico do MEH: 110 [W];
 - 4.2) rendimento energético nominal do MEH: 75 [%];
 - 4.3) distância na vertical entre o MEH e o solo: 0,500 [m];
 - 4.4) diâmetro de secção transversal do tubo de saída no MEH: 0,006445 [m];
 - 4.5) área de secção transversal do tubo de saída no MEH: 0,000033 [m²];
 - 4.6) velocidade nominal mínima do bombeamento no MEH: 16,869 [m/s];
 - 4.7) percentagem de acréscimo à velocidade nominal mínima do bombeamento no MEH: 5 [%];
 - 4.8) velocidade nominal do bombeamento no MEH: 17,710 [m/s];
 - 4.9) caudal de bombeamento nominal no MEH: 2.080,0 [l/h] = 0,000577769 [m³/s].

Os dados estimados dos parâmetros do tempo climático e do consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo são iguais aos da tabela 5.1.

Na seguinte tabela 5.7, apresenta-se os dados estimados para mais dois parâmetros do tempo climático, em valor médio, para os 24 períodos de tempo horários de um dia, e estes parâmetros são:

- a intensidade da precipitação de água junto à superfície terrestre ($I_{PA_ST}(t)$);
- a intensidade da evaporação de água junto à superfície terrestre ($I_{EA_ST}(t)$).

NPTH	PTH_F1		PTH_F2		I_PA_ST(t)	I_EA_ST(t)
	[ITI_F1; ITF_F1 [		[ITI_F2; ITF_F2 [			
	ITI_F1	ITF_F1	ITI_F2	ITF_F2		
	[h]	[h]	[hor]:[min]	[hor]:[min]		
1	0,000	1,000	00:00	01:00	2,000	0,000
2	1,000	2,000	01:00	02:00	4,000	0,000
3	2,000	3,000	02:00	03:00	3,000	0,000
4	3,000	4,000	03:00	04:00	2,000	0,000
5	4,000	5,000	04:00	05:00	1,000	0,000
6	5,000	6,000	05:00	06:00	0,500	0,000
7	6,000	7,000	06:00	07:00	0,250	0,001
8	7,000	8,000	07:00	08:00	0,000	0,002
9	8,000	9,000	08:00	09:00	0,000	0,005
10	9,000	10,000	09:00	10:00	0,000	0,007
11	10,000	11,000	10:00	11:00	0,000	0,009
12	11,000	12,000	11:00	12:00	0,000	0,010
13	12,000	13,000	12:00	13:00	0,000	0,012
14	13,000	14,000	13:00	14:00	0,000	0,015
15	14,000	15,000	14:00	15:00	0,000	0,014
16	15,000	16,000	15:00	16:00	0,000	0,013
17	16,000	17,000	16:00	17:00	0,000	0,013
18	17,000	18,000	17:00	18:00	0,000	0,012
19	18,000	19,000	18:00	19:00	0,000	0,011
20	19,000	20,000	19:00	20:00	0,200	0,008
21	20,000	21,000	20:00	21:00	0,300	0,006
22	21,000	22,000	21:00	22:00	0,500	0,004
23	22,000	23,000	22:00	23:00	0,750	0,002
24	23,000	24,000	23:00	00:00	0,250	0,001

Tabela 5.7: Dados para os parâmetros do tempo climático relacionados com água

A tabela 5.8 contém os resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no interior do sistema energético híbrido, e a produção eléctrica fornecida para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo bem como a diferença entre esta produção eléctrica e este consumo eléctrico.

NPTH	PTC_PE(GSFE, t)	PTC_PE(GEE, t)	PTC_PE(GHE, t)	PTC_PE(CBEQ, t)	PTC_PE_1 (SEH, t)	PTC_CE(MEH, t)	Q_E_AE(CRHS, t)	PTC_CE(CBEQ, t)	Q_E_AE(CBEQ, t)	PTC_PE_2 (SEH, t)	PTC_Dif_ 2(t)
	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W.h]	[W]	[W.h]	[W]	[W]
1	0	750	0	0	750	110	1.747	490	1.328	150	0
2	0	1.000	0	0	1.000	110	1.832	740	2.069	150	0
3	0	500	0	0	500	110	1.913	240	2.309	150	0
4	0	250	0	10	260	110	1.991	0	2.300	150	0
5	0	0	177	0	177	0	1.748	77	2.376	100	0
6	0	0	0	0	0	0	1.750	0	2.376	0	0
7	1	0	0	108	110	110	1.821	0	2.268	0	0
8	6	0	0	103	110	110	1.893	0	2.165	0	0
9	16	250	0	0	266	110	1.964	156	2.321	0	0
10	28	300	0	0	328	110	2.035	219	2.539	0	0
11	41	100	0	0	141	110	2.107	31	2.570	0	0
12	51	0	0	59	110	110	2.178	0	2.512	0	0
13	57	0	0	53	110	110	2.250	0	2.458	0	0
14	58	0	0	51	110	110	2.322	0	2.407	0	0
15	57	50	0	3	110	110	2.394	0	2.405	0	0
16	52	200	0	0	252	110	2.466	142	2.547	0	0
17	42	300	0	0	342	110	2.538	93	2.640	140	140
18	30	100	0	0	130	110	2.610	0	2.640	20	20
19	17	50	0	42	110	110	2.683	0	2.598	0	0
20	7	0	0	102	110	110	2.756	0	2.496	0	0
21	2	50	0	58	110	110	2.830	0	2.438	0	0
22	0	250	0	0	250	110	2.904	41	2.479	100	0
23	0	650	0	0	650	110	2.980	161	2.640	379	229
24	0	900	0	0	900	110	3.054	0	2.640	790	640

Tabela 5.8: Resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no SEH sem SPPM

Legenda dos parâmetros da tabela 5.8:

[Uma parte da legenda é igual à dos parâmetros da tabela 5.2.]

PTC_PE(GHE, t) → potência da produção eléctrica do gerador hidro-eléctrico (GHE), em função do tempo cronológico (t), expressa em “Watt” [W]

PTC_CE(MEH, t) → potência do consumo eléctrico do motor ‘electro-hídrico’ (MEH), em função do tempo cronológico (t), expressa em “Watt” [W]

Q_E_AE(CRHS, t) → quantidade de energia do armazenamento energético no conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS), em função do tempo cronológico (t), expressa em “Watt”-hora [W.h]

Os gráficos de dados e de resultados, para o aproveitamento energético do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ e do gerador ‘eolo-eléctrico’, são iguais aos gráficos de 5.40 a 5.44.

As produções eléctricas, os consumos eléctricos e os armazenamentos energéticos nos componentes do sistema energético híbrido (SEH) e no sistema consumidor eléctrico externo, são mostrados nos gráficos que têm os identificadores numéricos desde 5.61 até 5.65, para um SEH em que o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ tem uma ligação directa ao conjunto de baterias electroquímicas.

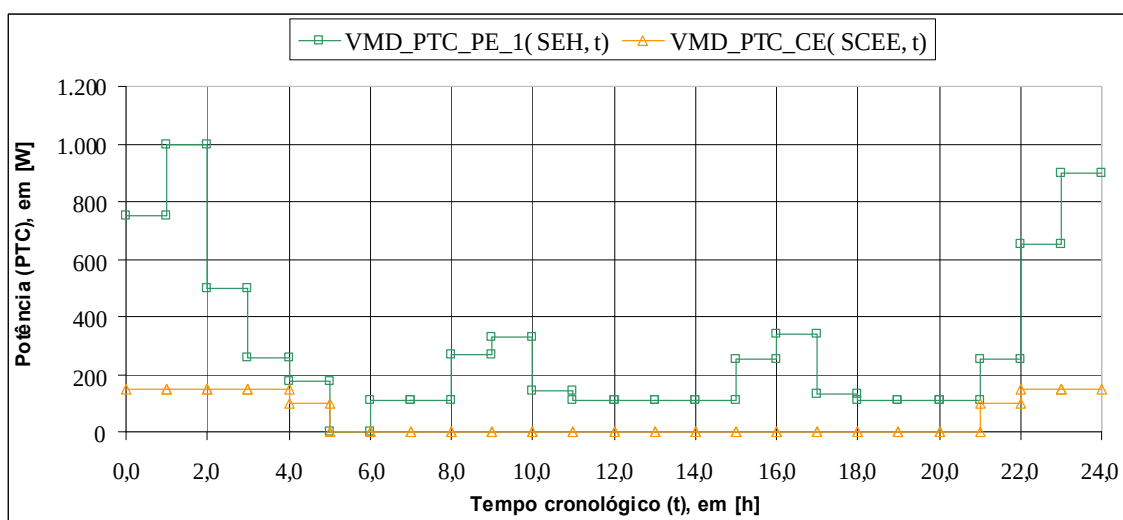


Gráfico 5.61: Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

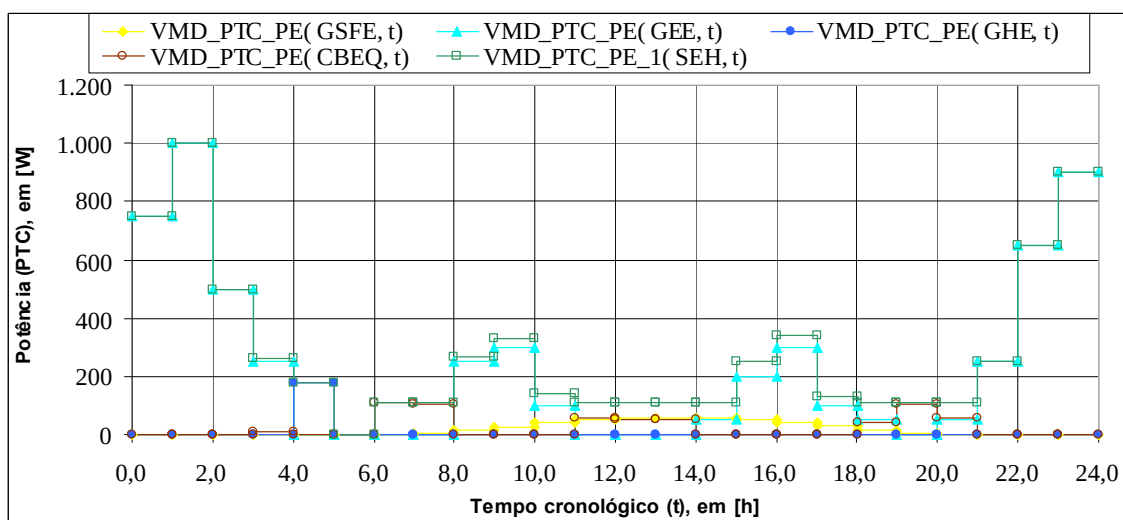


Gráfico 5.62: Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de produções eléctricas parciais do GSFE, do GEE, do GHE e do CBEQ, em função do tempo cronológico

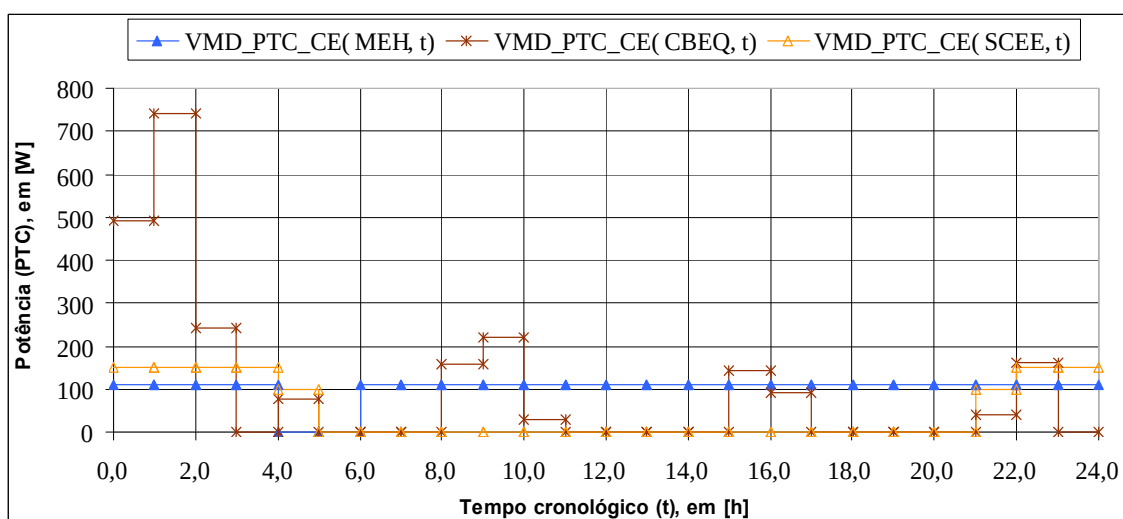


Gráfico 5.63: Valores médios da potência de consumo eléctrico do SCEE e da potência de consumos eléctricos do MEH e do CBEQ, em função do tempo cronológico

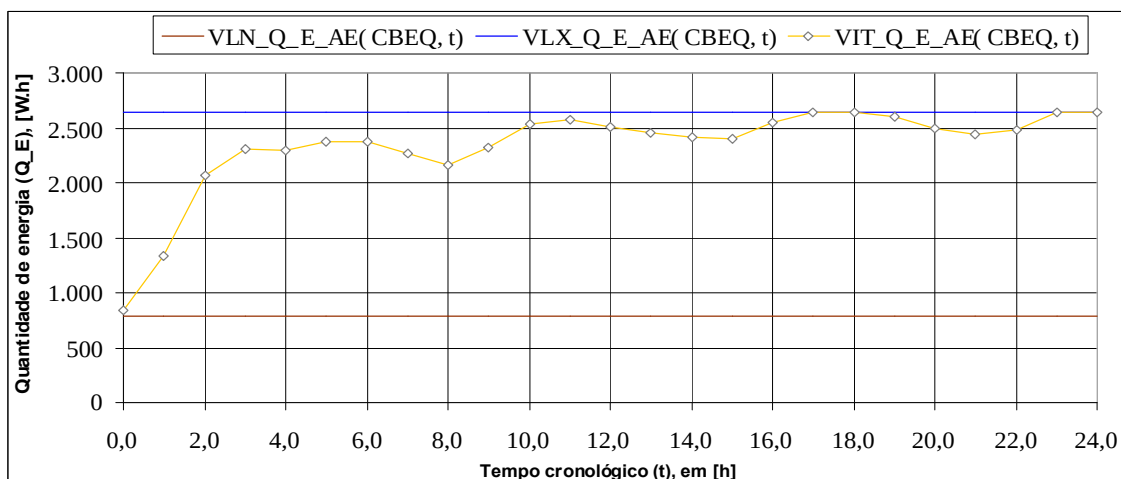


Gráfico 5.64: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico

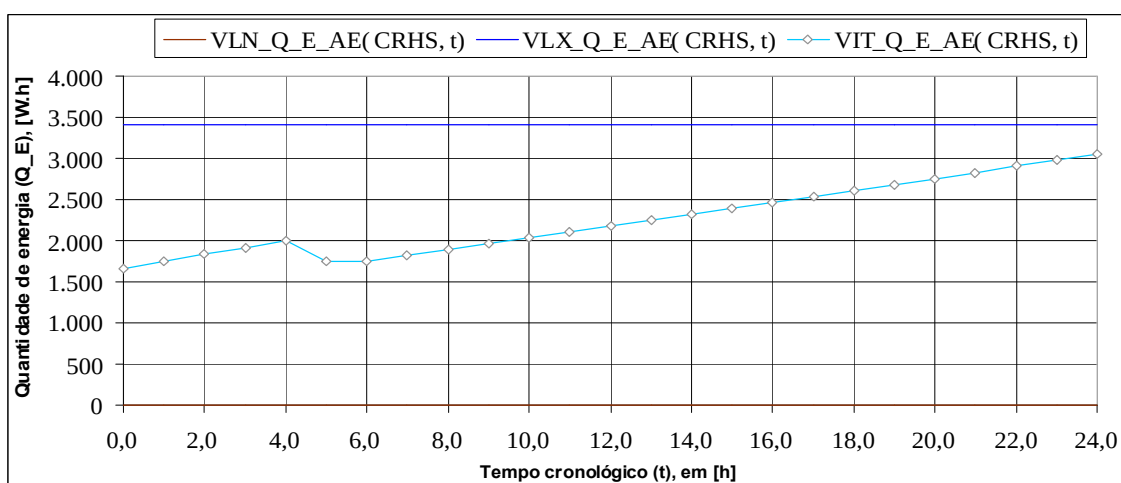


Gráfico 5.65: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS, em função do tempo cronológico

A comparação entre o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo e as produções eléctricas do gerador 'solar-foto-eléctrico', do gerador 'eolo-eléctrico', do gerador hidro-eléctrico, do conjunto de baterias electroquímicas e do sistema energético híbrido, é exibida nos gráficos de resultados que têm os identificadores numéricos desde 5.66 até 5.69.

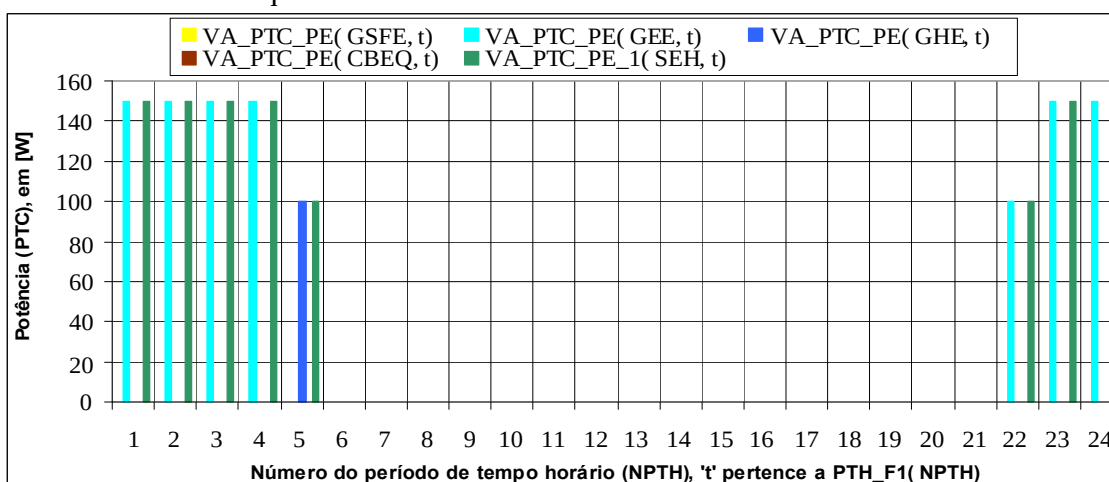


Gráfico 5.66: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do GHE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

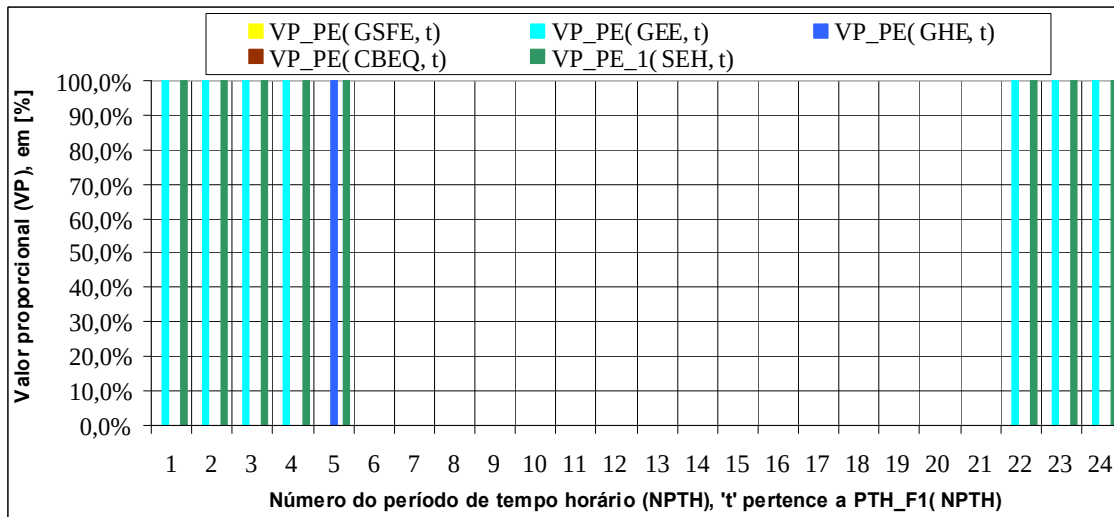


Gráfico 5.67: Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos de produções eléctricas relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

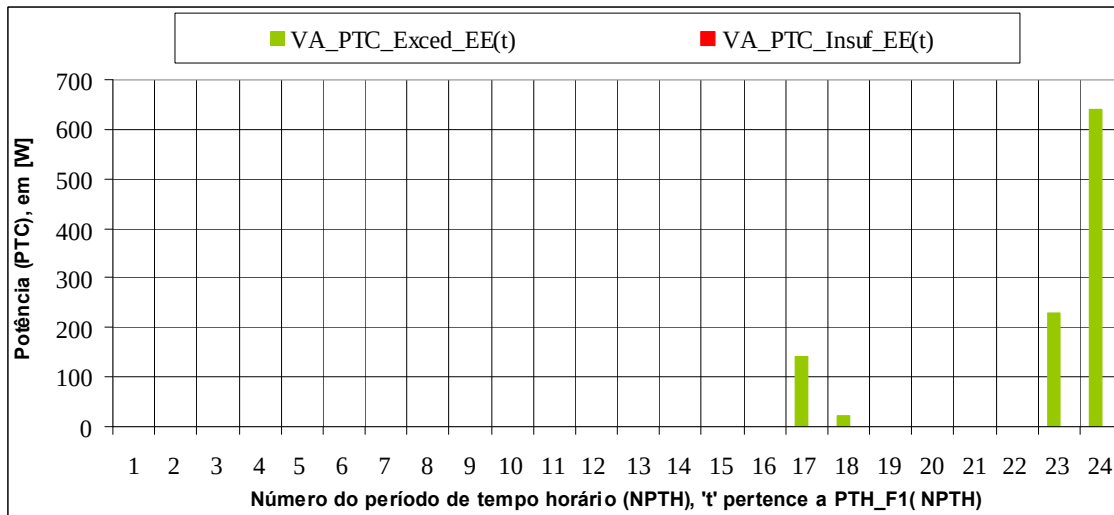


Gráfico 5.68: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

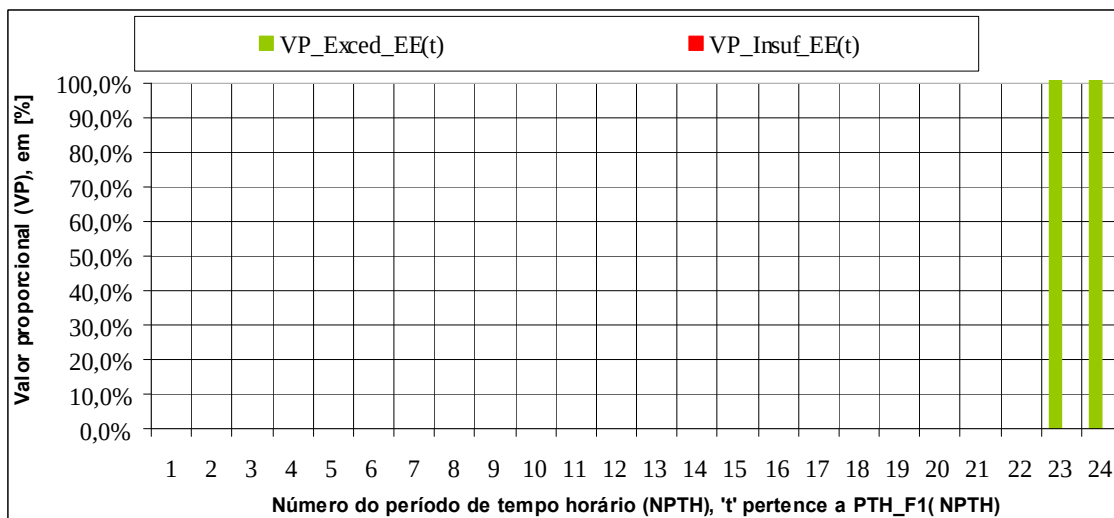


Gráfico 5.69: Valores proporcionais, em percentagem, dos valores absolutos da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica, relativamente ao consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

Nos períodos de tempo horários elementares 17, 18, 23 e 24, existe excedência de produção de energia eléctrica à saída do sistema energético híbrido para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo (SCEE), conforme se pode verificar nos gráficos 5.68 e 5.69, logo esta energia eléctrica é desperdiçada porque o conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ) está no limite máximo nesses períodos, podendo-se comprovar no gráfico 5.64, e o motor ‘electro-hídrico’ não pode aproveitar mais energia eléctrica para bombear água e encher o conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS) , podendo-se comprovar no gráfico 5.65.

O consumo eléctrico externo é satisfeito a 100 [%] pela produção eléctrica do gerador hidro-eléctrico no período de tempo horário 5, e é satisfeito a 100 [%] pela produção eléctrica do gerador ‘eolo-eléctrico’ nos restantes períodos de tempo horários elementares para os quais o SCEE requer energia eléctrica, tal como se pode conferir nos gráficos 5.66 e 5.67.

No fim do dia, o armazenamento energético do CBEQ está no limite máximo (gráfico 5.64) e o armazenamento energético do CRHS está próximo do limite máximo (gráfico 5.65). Isso implica que no dia seguinte existirá excedência de produção eléctrica para satisfazer o consumo eléctrico externo, caso se mantenha as condições do dia actual excepto os armazenamentos energéticos iniciais do dia seguinte que são iguais aos armazenamentos energéticos finais do dia actual.

A segunda configuração do sistema energético híbrido (SEH) tem o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ com uma ligação indirecta ao conjunto de baterias electroquímicas através de um seguidor do ponto de potência máxima, e mantém as restantes características iguais às da primeira configuração.

Para a simulação da segunda configuração do SEH, manteve-se os outros dados iguais aos da primeira configuração.

A seguinte tabela 5.9 contém os resultados das produções eléctricas, dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no interior do sistema energético híbrido, e a produção eléctrica fornecida para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo bem como a diferença entre esta produção eléctrica e este consumo eléctrico.

NPTH	PTC_PE(GSFE, t)	PTC_PE(GEE, t)	PTC_PE(GHE, t)	PTC_PE(CBEQ, t)	PTC_PE_1 (SEH, t)	PTC_CE(MEH, t)	Q_E_AE(CRHS, t)	PTC_CE(CBEQ, t)	Q_E_AE/ CBEQ, t)	PTC_PE_2 (SEH, t)	PTC_Dif_ 2(t)
	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W.h]	[W]	[W.h]	[W]	[W]
1	0	750	0	0	750	110	1.747	490	1.328	150	0
2	0	1.000	0	0	1.000	110	1.832	740	2.069	150	0
3	0	500	0	0	500	110	1.913	240	2.309	150	0
4	0	250	0	10	260	110	1.991	0	2.300	150	0
5	0	0	177	0	177	0	1.748	77	2.376	100	0
6	0	0	0	0	0	0	1.750	0	2.376	0	0
7	1	0	0	109	110	110	1.821	0	2.268	0	0
8	7	0	0	103	110	110	1.893	0	2.165	0	0
9	32	250	0	0	282	110	1.964	172	2.337	0	0
10	92	300	0	0	392	110	2.035	282	2.619	0	0
11	193	100	0	0	293	110	2.107	21	2.640	162	162
12	303	0	0	0	303	110	2.178	0	2.640	193	193
13	381	0	0	0	381	110	2.250	0	2.640	271	271
14	409	0	0	0	409	110	2.322	0	2.640	300	300
15	388	50	0	0	438	110	2.394	0	2.640	329	329
16	317	200	0	0	517	110	2.466	0	2.640	407	407
17	209	300	0	0	509	110	2.538	0	2.640	400	400
18	105	100	0	0	205	110	2.610	0	2.640	95	95
19	41	50	0	19	110	110	2.683	0	2.621	0	0
20	9	0	0	101	110	110	2.756	0	2.521	0	0
21	1	50	0	58	110	110	2.830	0	2.463	0	0
22	0	250	0	0	250	110	2.904	41	2.503	100	0
23	0	650	0	0	650	110	2.980	137	2.640	404	254
24	0	900	0	0	900	110	3.054	0	2.640	790	640

Tabela 5.9: Resultados das produções eléctricas , dos consumos eléctricos e dos armazenamentos energéticos no SEH com SPPM

Os gráficos de dados e de resultados, para o aproveitamento energético do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ e do gerador ‘eolo-eléctrico’, são iguais aos gráficos de 5.53 a 5.55.

As produções eléctricas, os consumos eléctricos e os armazenamentos energéticos nos componentes do sistema energético híbrido (SEH) e no sistema consumidor eléctrico externo, são mostrados nos gráficos que têm os identificadores numéricos desde 5.70 até 5.74, para um SEH em que o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ tem uma ligação indirecta ao conjunto de baterias electroquímicas através de um seguidor do ponto de potência máxima.

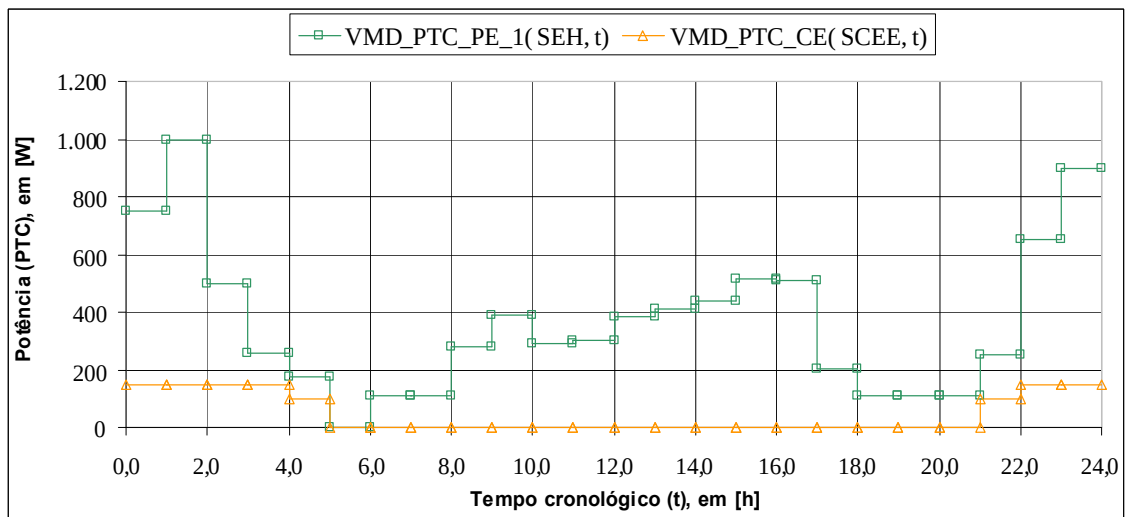


Gráfico 5.70: Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

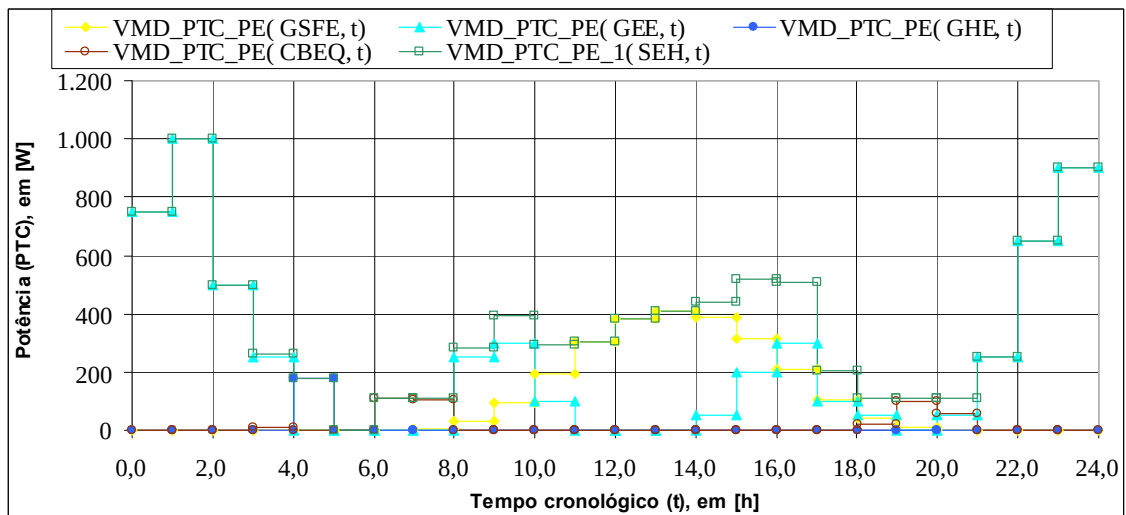


Gráfico 5.71: Valores médios da potência de produção eléctrica total (ou de índice 1) do SEH e da potência de produções eléctricas parciais do GSFE, do GEE, do GHE e do CBEQ, em função do tempo cronológico

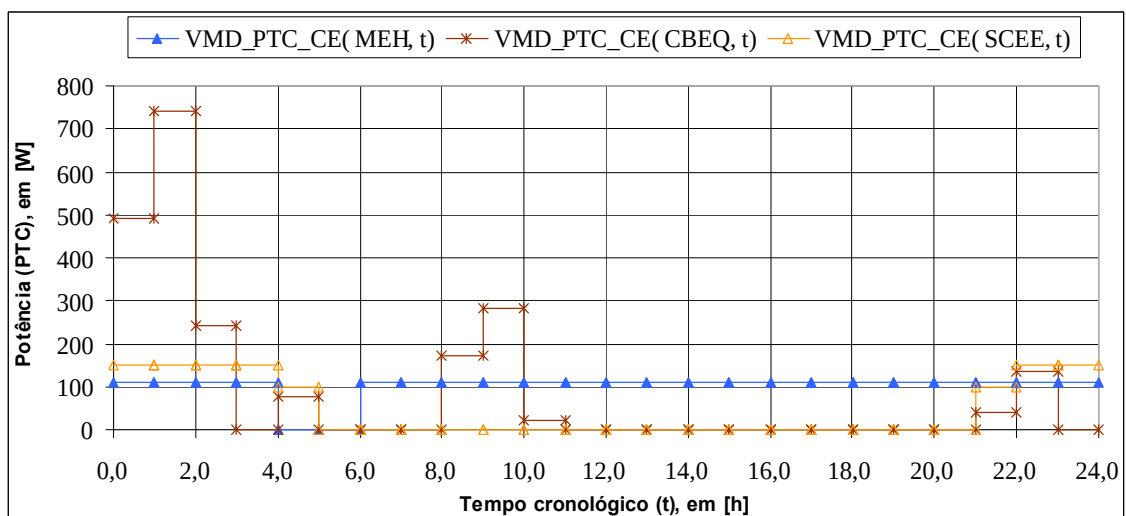


Gráfico 5.72: Valores médios da potência de consumo eléctrico do SCEE e da potência de consumos eléctricos do MEH e do CBEQ, em função do tempo cronológico

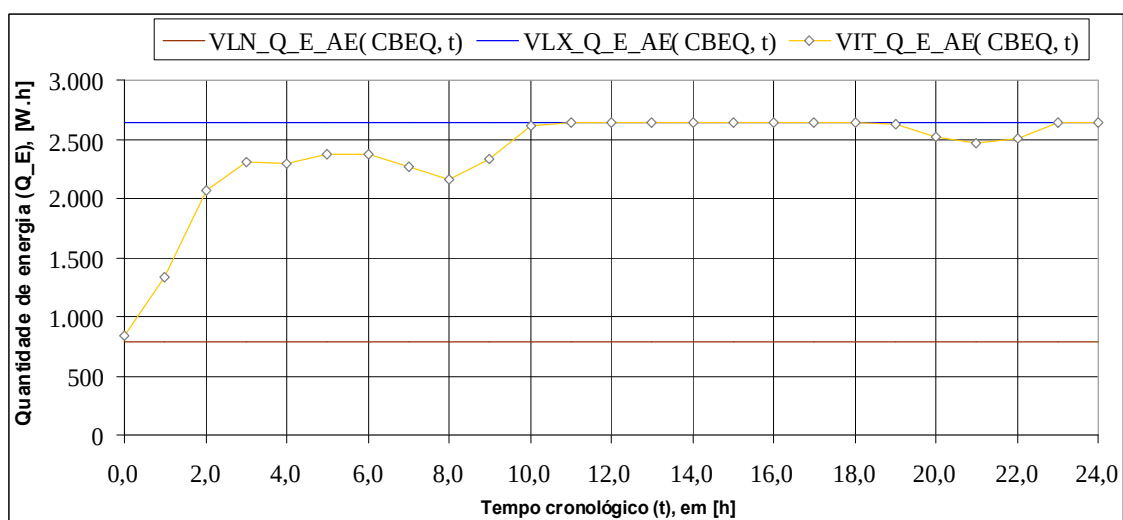


Gráfico 5.73: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico

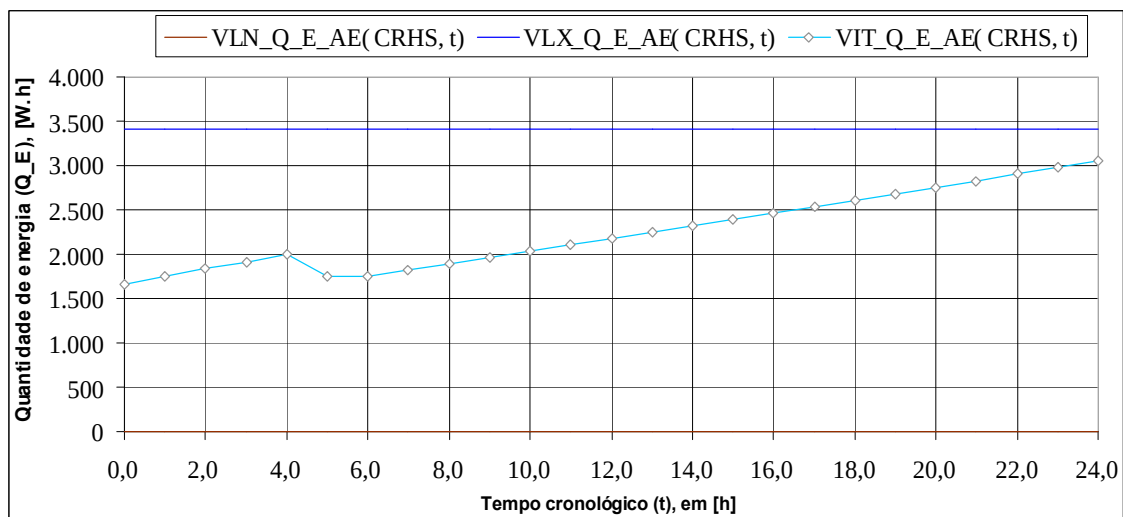


Gráfico 5.74: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS, em função do tempo cronológico

A comparação entre o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo e a produção eléctrica do sistema energético híbrido (SEH), é exibida no gráfico 5.75 de resultados para a segunda configuração do SEH.

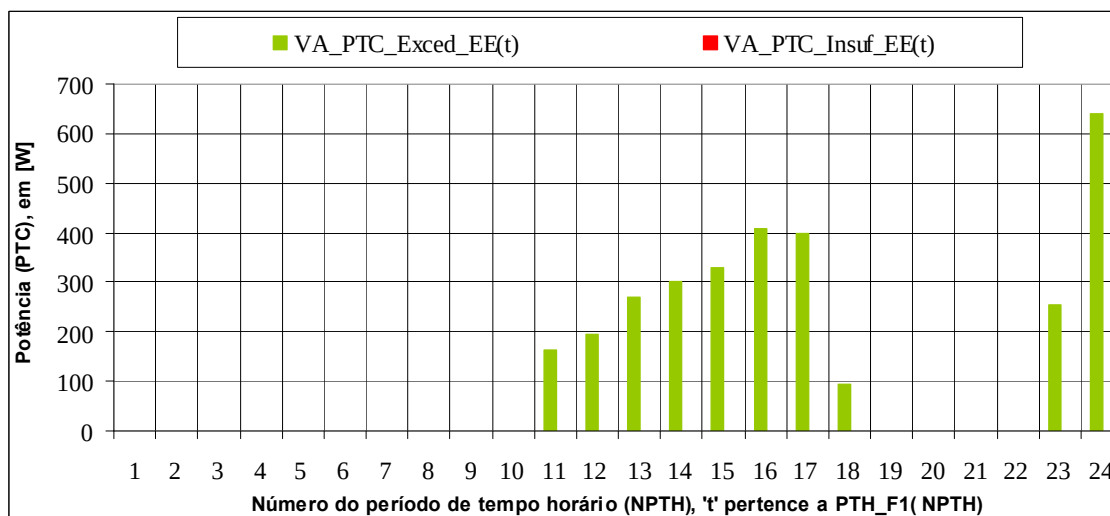


Gráfico 5.75: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico

A excedência de produção de energia eléctrica para satisfazer o consumo eléctrico externo na segunda configuração do sistema energético híbrido é maior do que na primeira configuração do SEH, e ocorre nos períodos de tempo horários elementares de 11 a 18, 23 e 24, conforme se pode ver no gráfico 5.75. Essa energia eléctrica é desperdiçada porque o conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ) atinge o limite máximo nos períodos 11 e 23 e está no limite máximo nos outros períodos, podendo-se comprovar no gráfico 5.73. O outro motivo é a limitação do motor 'electro-hídrico' para aproveitar a energia eléctrica, convertendo-a em energia hídrica potencial, quando bombeia água para o conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS).

Na segunda configuração do SEH, o consumo eléctrico externo é satisfeito da mesma maneira como na primeira configuração do SEH.

No fim do dia, o armazenamento energético do CBEQ e o armazenamento energético do CRHS são iguais aos da primeira configuração do SEH, portanto no dia seguinte existirá excedência de produção eléctrica relativamente ao consumo eléctrico externo para a segunda configuração do SEH, com as mesmas condições definidas para a primeira configuração do SEH.

Capítulo 6 - Realização de um programa informático para gestão e controlo de um SEH

6.1 - Apresentação do programa de simulação sobre gestão e controlo de um SEH, da versão 1.0

O programa foi feito no ambiente de programação “Visual Studio 2005”, usando a linguagem de programação “Visual BASIC”.

A versão 1.0 do programa permite introduzir dados para alguns componentes do sistema energético global, calcular a simulação do funcionamento do sistema energético global, e visualizar esta simulação.

A estrutura de componentes do sistema energético global (SEG) é fixa na versão 1.0 do programa, e é constituída por três componentes principais, os quais são:

- os recursos energéticos (RCS_E);
- o sistema energético híbrido (SEH);
- o sistema consumidor eléctrico externo (SCEE).

A simulação do funcionamento do sistema energético global, que inclui a simulação do sistema energético híbrido, permite ao utilizador do programa, verificar a gestão dos fluxos de energia em cada período de tempo horário elementar desde a entrada até à saída no sistema energético híbrido, bem como a gestão da energia que fica retida no armazenamento do sistema energético híbrido.

Na implementação da versão 1.0 do programa, usou-se o sistema energético híbrido com componentes arbitrários e que tem só armazenamento de energia ‘electrolítica’.

6.1.1 - Janelas iniciais do programa

O programa de simulação sobre gestão e controlo de um sistema energético híbrido (SGC_SEH) tem três janelas iniciais que são mostradas nas figuras 6.1, 6.2 e 6.3, nas quais se faz uma apresentação sobre o programa, onde se mostra a estrutura de componentes do sistema energético global com os principais objectos físicos das formas-de-energia que existem à entrada e à saída do sistema energético híbrido, e também que existem no interior deste sistema.

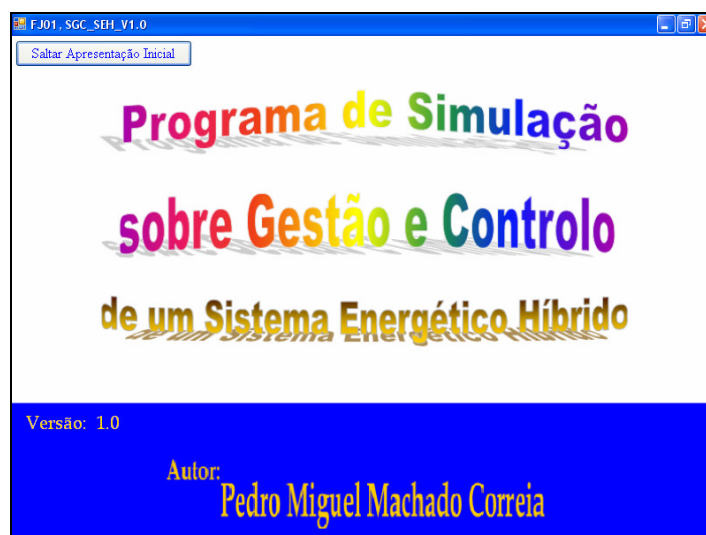


Figura 6.1: Janela inicial 1



Figura 6.2: Janela inicial 2

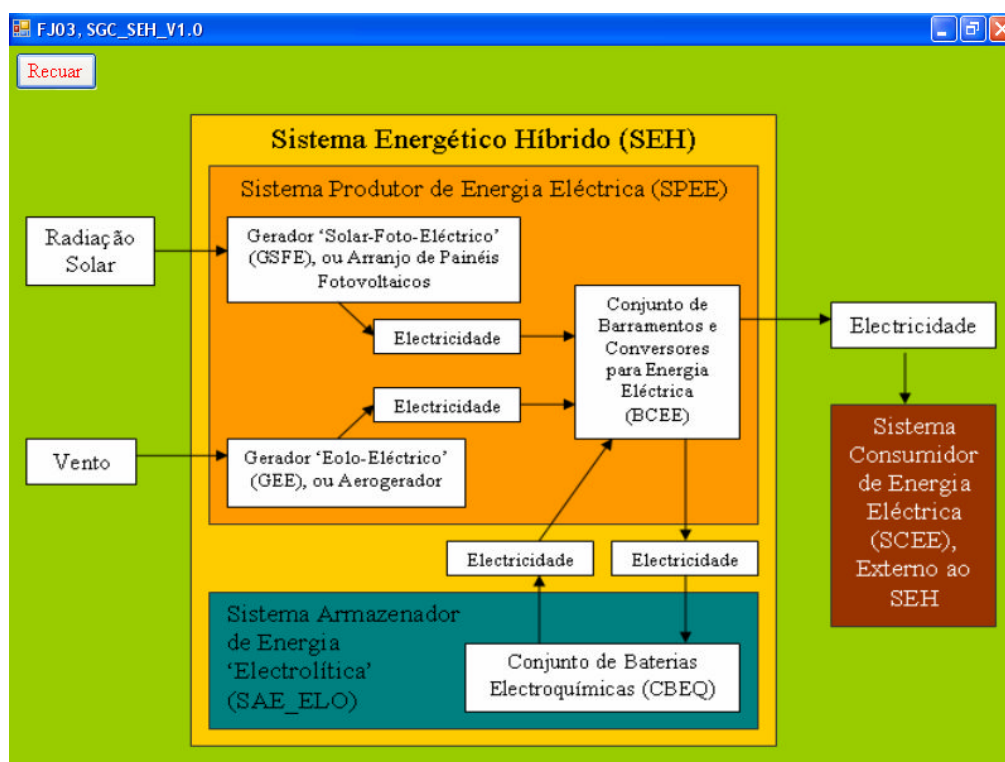


Figura 6.3: Janela inicial 3

Os principais objectos físicos de energia, que existem no sistema energético global (SEG), são:

- à entrada do SEH: a radiação solar, e o vento;
- no interior do SEH: a electricidade, e o electrólito carregável electricamente;
- à saída do SEH: a electricidade.

6.1.2 - Janela principal do programa

A janela principal do programa é apresentada na figura 6.4 e é constituída pelas seguintes partes:

- a barra de menus de comandos;
- a barra de utensílios de comandos principais;
- os botões-de-comando das acções principais;
- o estado de funcionamento do programa;
- a descrição sobre os componentes do sistema energético global.

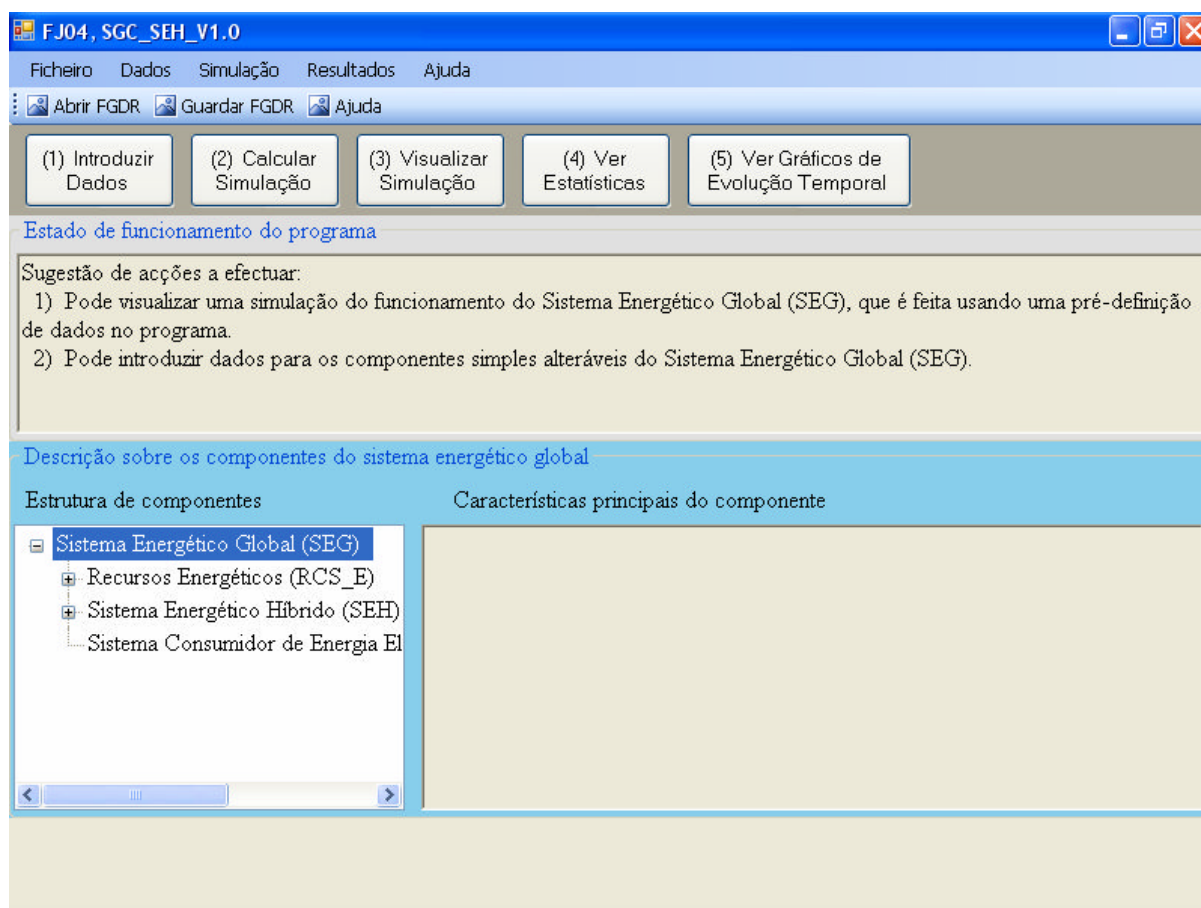


Figura 6.4: Janela principal

A barra de menus de comandos tem cinco menus que são:

- o menu «Ficheiro» → que contém os comandos para abrir, fechar e guardar um ficheiro geral de dados e resultados (FGDR), e o comando para sair do programa;
- o menu «Dados» → que contém os comandos para aceder directamente às janelas de introdução de dados referentes aos componentes simples alteráveis do sistema energético global;
- o menu «Simulação» → o qual tem dois comandos em que um é para calcular a simulação do funcionamento do sistema energético global, e o outro é para visualizar a simulação num determinado modo de visualização de três modos possíveis;
- o menu «Resultados» → que tem um comando para ver os resultados estatísticos da simulação, e outro comando para ver os gráficos de evolução, ao longo do tempo cronológico, dos vários parâmetros resultantes da simulação;
- o menu «Ajuda» → o qual contém três comandos para aceder à informação explicativa sobre o funcionamento e as características do programa, e sobre o vocabulário mais importante que é usado no programa.

A barra de utensílios de comandos principais tem três botões-de-comando que são:

- «Abrir FGDR» → para abrir um ficheiro geral de dados e resultados (FGDR);
- «Guardar FGDR» → para guardar um ficheiro geral de dados e resultados (FGDR);
- «Ajuda» → para mostrar uma janela de ajuda sobre o programa.

Os botões-de-comando das acções principais são:

- « (1) Introduzir Dados » → o qual serve para aceder às janelas de introdução de dados referentes aos componentes simples alteráveis do sistema energético global;
- « (2) Calcular Simulação » → que permite aceder à janela de cálculo da simulação, após a escolha do passo de tempo cronológico;
- « (3) Visualizar Simulação » → o qual é usado para visualizar a simulação do funcionamento do sistema energético global num modo de visualização que pode ser o modo automático, o modo manual sem relatório resumido e o modo manual com relatório resumido;
- « (4) Ver Estatísticas » → que permite ver os resultados da simulação em forma de estatísticas;
- « (5) Ver Gráficos de Evolução Temporal » → o qual permite ver os resultados da simulação em forma de gráficos de evolução dos vários parâmetros ao longo do tempo cronológico.

A parte da janela principal para o estado de funcionamento do programa mostra a sugestão de acções a efectuar e a última acção efectuada.

A parte da descrição sobre os componentes do sistema energético global tem, do lado esquerdo, a estrutura de componentes em forma de árvore, e do lado direito, as características principais do componente seleccionado no lado esquerdo.

A estrutura de componentes na versão 1.0 do programa tem os seguintes componentes simples do sistema energético global (SEG):

- energia solar (E_SLR);
- energia eólica (E_EÓL);
- gerador 'solar-foto-eléctrico' (GSFE);
- gerador 'eolo-eléctrico' (GEE);
- conjunto de barramentos e conversores de energia eléctrica (BCEE);
- conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ);
- sistema consumidor eléctrico externo (SCEE).

O conjunto de barramentos e conversores de energia eléctrica é um componente simples inalterável, mas os restantes componentes simples são alteráveis.

As características dos componentes simples do sistema energético global estão guardadas numa base-de-dados feita no programa "Access". O ficheiro dessa base-de-dados serve, por enquanto, como um ficheiro geral de dados e resultados.

6.1.3 - Janelas de introdução de dados

A janela de selecção de um componente do sistema energético global (SEG), que é apresentada na figura 6.5, é acedida clicando no botão-de-comando « (1) Introduzir Dados », e após a selecção de um componente simples alterável, é possível introduzir dados para esse componente na respectiva janela.

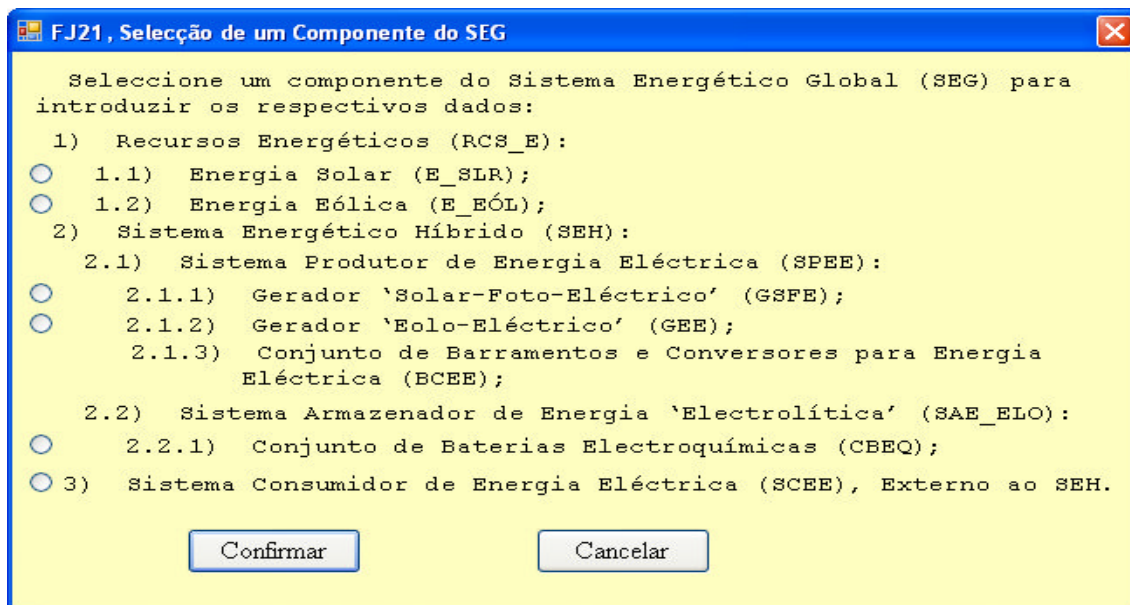


Figura 6.5: Janela de selecção de um componente do SEG

A janela de introdução de dados para o recurso de energia solar (E_SLR), que é apresentada na figura 6.6, permitirá introduzir os respectivos dados.

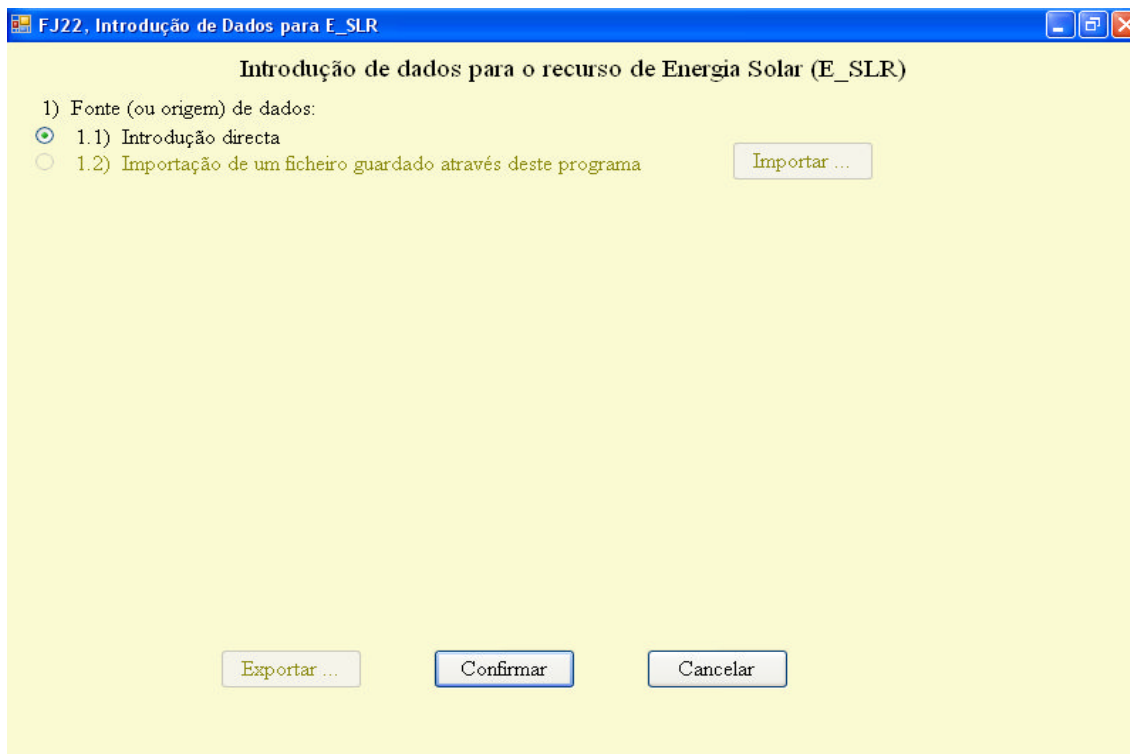


Figura 6.6: Janela de introdução de dados para o recurso de E_SLR

A janela de introdução de dados para o recurso de energia eólica (E_EÓL), que é apresentada na figura 6.7, permite introduzir dados para parâmetros relacionados com o vento, e para a velocidade do vento, em valor médio, nos 24 períodos de tempo horários de um dia.

FJ23, Introdução de Dados para E_EÓL

Introdução de dados para o recurso de Energia Eólica (E_EÓL)

1) Fonte (ou origem) de dados:

- ☒ 1.1) Introdução directa
- ☐ 1.2) Importação de um ficheiro guardado através deste programa Importar ...

2) Dados de parâmetros relacionados com o vento que caracterizam o recurso energético eólico:

2.1) Altitude do local [m]: 2.3) Comprimento da rugosidade da superfície típica [m]:

2.2) Altura do anemómetro [m]: 2.4) Massa específica do ar [kg/m³]:

3) Dados de linha-de-base do tempo climático relacionado com o vento para as 24 horas (ou períodos de tempo horários) de um dia:

NPTH	PTH_F1	PTH_F2	Velocidade do Vento [m/s]
1	[0,000; 1,000[	[00:00; 01:00[	8,769
2	[1,000; 2,000[	[01:00; 02:00[	12,000
3	[2,000; 3,000[	[02:00; 03:00[	7,000
4	[3,000; 4,000[	[03:00; 04:00[	5,333
5	[4,000; 5,000[	[04:00; 05:00[	1,500
6	[5,000; 6,000[	[05:00; 06:00[	0,000
7	[6,000; 7,000[	[06:00; 07:00[	0,000
8	[7,000; 8,000[	[07:00; 08:00[	1,000
9	[8,000; 9,000[	[08:00; 09:00[	5,333
10	[9,000; 10,000[	[09:00; 10:00[	5,667
11	[10,000; 11,000[	[10:00; 11:00[	4,000

Exportar ... Confirmar Cancelar

Figura 6.7: Janela de introdução de dados para o recurso de E_EÓL

A janela de introdução de dados para o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE), que é apresentada na figura 6.8, permite introduzir dados relacionados com o seguidor do ponto de potência máxima (SPPM).

FJ24, Introdução de Dados para GSFE

Introdução de dados para o Gerador ‘Solar-Foto-Eléctrico’ (GSFE), ou arranjo de painéis solar-fotovoltaicos

1) Fonte (ou origem) de dados:

- ☒ 1.1) Introdução directa
- ☐ 1.2) Importação de um ficheiro guardado através deste programa Importar ...

☒ Existência de SPPM (seguidor do ponto de potência máxima)

Rendimento energético do SPPM [%]:

Exportar ... Confirmar Cancelar

Figura 6.8: Janela de introdução de dados para o GSFE

Na janela de introdução de dados para o gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE), que é apresentada na figura 6.9, é possível introduzir dados para as propriedades do GEE e para a potência eléctrica do GEE em função da velocidade do vento.

FJ25, Introdução de Dados para GEE

Introdução de dados para o Gerador 'Eolo-Eléctrico' (GEE), ou aerogerador

1) Fonte (ou origem) de dados:

- ☒ 1.1) Introdução directa
- ☐ 1.2) Importação de um ficheiro guardado através deste programa Importar ...

2) Dados das propriedades do GEE:

2.1) Potência máxima de produção eléctrica do GEE [W]:

2.2) Área de varrimento da turbina eólica [m²]:

2.3) Altura desde o solo até à base da torre [m]:

2.4) Altura desde a base da torre até ao eixo do rotor de turbina [m]:

2.5) Tipo de corrente eléctrica de saída do GEE:

- ☒ 2.5.1) Corrente alternada (CA)
- ☐ 2.5.2) Corrente contínua (CC)

3) Dados da potência eléctrica do GEE em função da velocidade do vento:

NLT	Velocidade do Vento [m/s]	Potência Eléctrica [W]
1	0,000	0
2	1,000	0
3	2,000	10
4	3,000	50
5	4,000	100
6	5,000	200
7	6,000	350
8	7,000	500
9	8,000	650
10	9,000	700

Exportar ... Confirmar Cancelar

Figura 6.9: Janela de introdução de dados para o GEE

Na janela de introdução de dados para o conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), que é apresentada na figura 6.10, é possível a introdução de dados para as propriedades do CBEQ e a visualização de parâmetros calculados a partir dos dados.

FJ26, Introdução de Dados para CBEQ

Introdução de dados para o Conjunto de Baterias Electroquímicas (CBEQ)

1) Fonte (ou origem) de dados:

- ☒ 1.1) Introdução directa
- ☐ 1.2) Importação de um ficheiro guardado através deste programa Importar ...

2) Dados das propriedades do CBEQ:

2.1) Número de baterias electroquímicas:

2.2) Capacidade máxima de armazenamento energético de uma bateria electroquímica (BEQ) [A.h]:

2.3) Tensão eléctrica nominal:

2.3.1) de uma BEQ [V]:

2.3.2) do CBEQ [V]:

2.4) Percentagem do limite mínimo de armazenamento energético em relação à capacidade máxima [%]:

2.5) Quantidade de energia 'electrolítica' armazenada inicialmente no CBEQ [W.h]:

2.6) Rendimento energético da transformação (ou conversão):

2.6.1) de energia eléctrica (E_ELT) para energia 'electrolítica' (E_ELO) [%]:

2.6.2) de energia 'electrolítica' (E_ELO) para energia eléctrica (E_ELT) [%]:

3) Parâmetros calculados a partir dos dados:

3.1) Limite máximo de armazenamento energético no CBEQ [W.h]:

3.2) Limite mínimo de armazenamento energético no CBEQ [W.h]:

Exportar ... Confirmar Cancelar

Figura 6.10: Janela de introdução de dados para o CBEQ

Na janela de introdução de dados para o sistema consumidor eléctrico externo (SCEE), que é apresentada na figura 6.11, é possível introduzir dados para as propriedades do SCEE e para a potência de consumo eléctrico do SCEE, em valor médio, nos 24 períodos de tempo horários de um dia, e visualizar parâmetros calculados a partir dos dados. Esse sistema também se pode designar por sistema consumidor de energia eléctrica (SCEE), externo ao sistema energético híbrido (SEH).

FJ27, Introdução de Dados para SCEE

Introdução de dados para o Sistema Consumidor de Energia Eléctrica (SCEE), Externo ao SEH

1) Fonte (ou origem) de dados:

☒ 1.1) Introdução directa

☐ 1.2) Importação de um ficheiro guardado através deste programa Importar ...

2) Dados das propriedades do SCEE:

2.1) Tipo de corrente eléctrica do SCEE: ☒ 2.1.1) Corrente alternada (CA) ☐ 2.1.2) Corrente contínua (CC)

2.2) Potência de limite máximo (ou máxima independente) de consumo eléctrico [W]:

3) Dados da linha-de-base do consumo eléctrico do SCEE para as 24 horas (ou períodos de tempo horários) de um dia:

NPTH	PTH_F1	PTH_F2	Potência de CE [W]
1	[0,000; 1,000[	[00:00; 01:00[	100
2	[1,000; 2,000[	[01:00; 02:00[	100
3	[2,000; 3,000[	[02:00; 03:00[	0
4	[3,000; 4,000[	[03:00; 04:00[	0
5	[4,000; 5,000[	[04:00; 05:00[	0
6	[5,000; 6,000[	[05:00; 06:00[	500
7	[6,000; 7,000[	[06:00; 07:00[	1.000

4) Parâmetros calculados a partir dos dados do SCEE, para o período de tempo considerado com a duração de 24 horas:

4.1) Potência máxima (ou de limite máximo dependente) de consumo eléctrico [W]:

4.2) Potência média de consumo eléctrico [W]:

4.3) Valor integrativo da quantidade de energia de consumo eléctrico [W.h]:

4.4) Valor proporcional entre potência média e potência máxima [%]:

Exportar ... Confirmar Cancelar

Figura 6.11: Janela de introdução de dados para o SCEE

Para cada componente simples alterável do sistema energético global, será possível guardar os respectivos dados num ficheiro específico, mas isto não está implementado nesta versão do programa.

6.1.4 - Janelas de simulação

Para calcular a simulação do funcionamento do sistema energético global, clica-se no botão-de-comando « (2) Calcular Simulação », ou selecciona-se o comando « Calcular ... » no menu «Simulação». A seguir, aparece a janela para escolha do passo de tempo cronológico, que é apresentada na figura 6.12, e por enquanto, só é possível escolher a opção « 60 [min] = 1 [h] » das oito opções exibidas.

Após a confirmação da escolha na janela anterior, é mostrada a janela que contém a informação sobre o cálculo da simulação, que é apresentada na figura 6.13, e pode-se executar o cálculo clicando no botão-de-comando «Começar». A informação sobre o estado de realização do cálculo é exibida na parte inferior da janela.

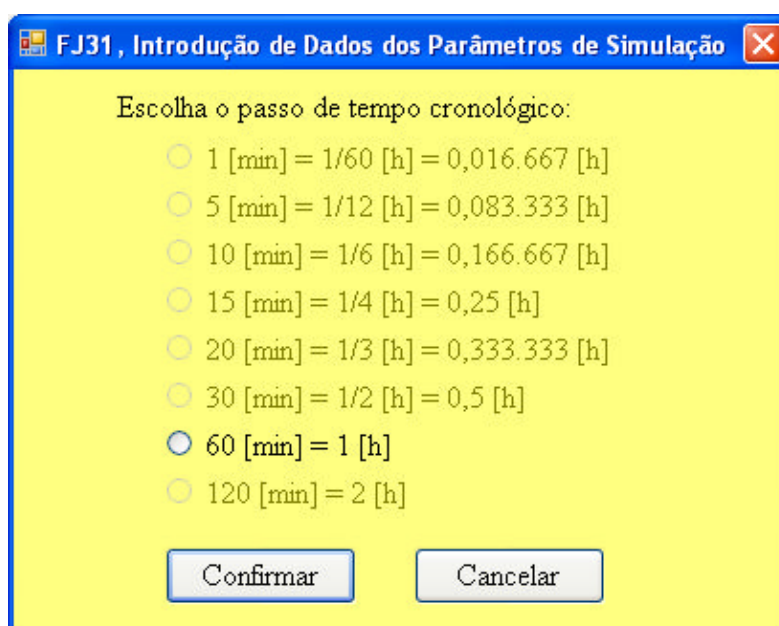


Figura 6.12: Janela de introdução de dados dos parâmetros de simulação

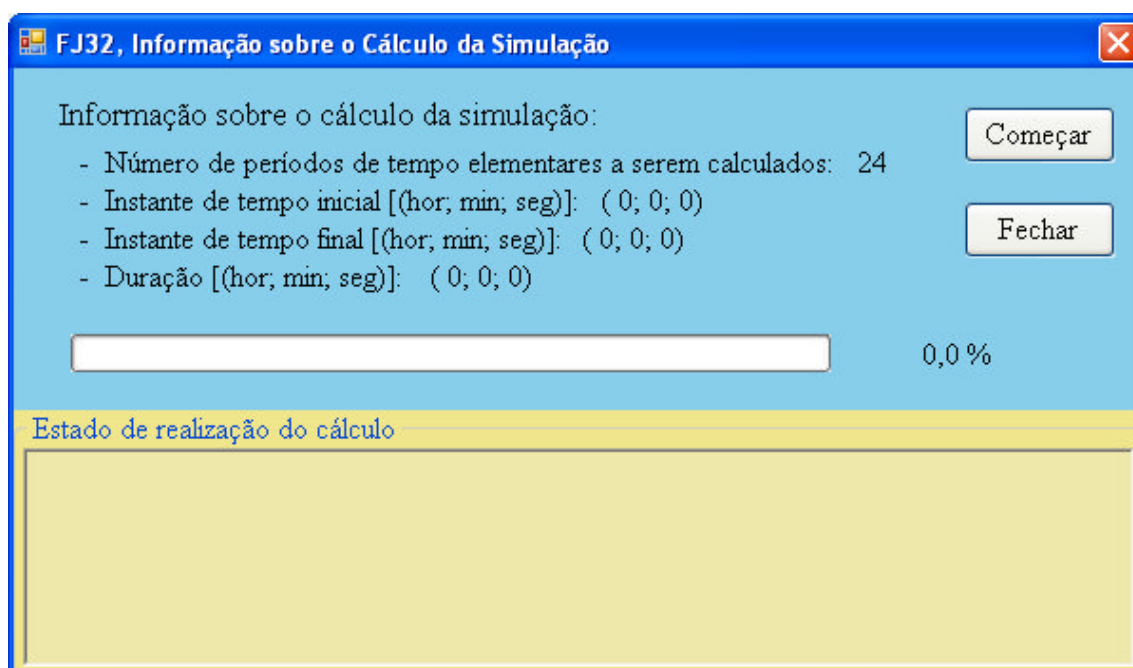


Figura 6.13: Janela de informação sobre o cálculo da simulação

A simulação do funcionamento do sistema energético global pode ser visualizada começando por clicar no botão-de-comando « (3) Visualizar Simulação », ou seleccionar o comando « Visualizar ... » no menu «Simulação». Em seguida, mostra-se uma janela, que é apresentada na figura 6.14, para a escolha do modo de visualização da simulação entre três modos possíveis.

Se for escolhido o modo automático, então é necessário introduzir a temporização de visualização da simulação automática entre 1 [s] e 60 [s] (figura 6.15). Na janela de visualização da simulação automática, que é apresentada na figura 6.16, inicia-se a simulação clicando no botão-de-comando «Começar», pode-se parar ou continuar clicando em «Parar/Continuar», e termina-se a qualquer momento clicando em «Terminar».

Caso seja escolhido o modo manual sem relatório resumido, a respectiva janela de visualização da simulação, que é apresentada na figura 6.17, tem um esquema do sistema energético global que é igual ao da simulação automática, mas tem botões-de-comando diferentes. Os botões-de-comando «Inicial», «Anterior», «Posterior», e «Final», permitem mudar de um período de tempo horário para outro, e o botão-de-comando «Introduzir NPTH» possibilita a introdução directa de um número do período de tempo horário (NPTH) e a respectiva visualização dos valores dos parâmetros no esquema.

Se a escolha for o modo manual com relatório resumido, então a respectiva janela de visualização da simulação, que é apresentada nas figuras 6.18, 6.19 e 6.20, tem os mesmos botões-de-comando que a janela do outro modo manual, mas tem o esquema do sistema energético global dividido em três partes e também tem um relatório resumido. As três partes do esquema são a parte «Antes da Entrada no SEH» (figura 6.18) onde se quantificam as formas-de-energia que entram no sistema energético híbrido (SEH), a parte «No Interior do SEH» (figura 6.19) onde se quantificam as transformações e as transferências de energia eléctrica e o armazenamento de energia ‘electrolítica’, e a parte «Depois da Saída do SEH» (figura 6.20) onde se quantifica e se compara a energia eléctrica fornecida pelo SEH e a energia eléctrica requerida pelo sistema consumidor eléctrico externo (SCEE). O relatório resumido apresenta a comparação qualitativa entre a produção eléctrica do SEH e o consumo eléctrico do SCEE, e os valores proporcionais em percentagem das contribuições de produção eléctrica do gerador ‘solar-foto-eléctrico’, do gerador ‘eolo-eléctrico’, do conjunto de baterias electroquímicas e do SEH relativamente ao consumo eléctrico do SCEE.

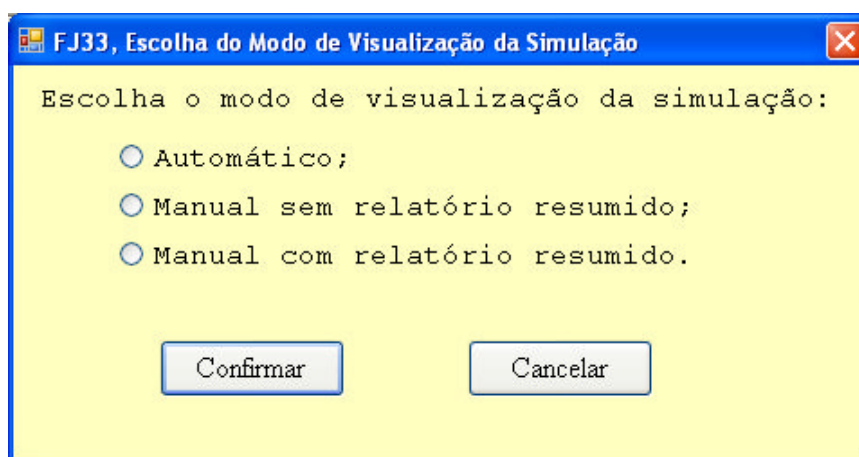


Figura 6.14: Janela de escolha do modo de visualização da simulação

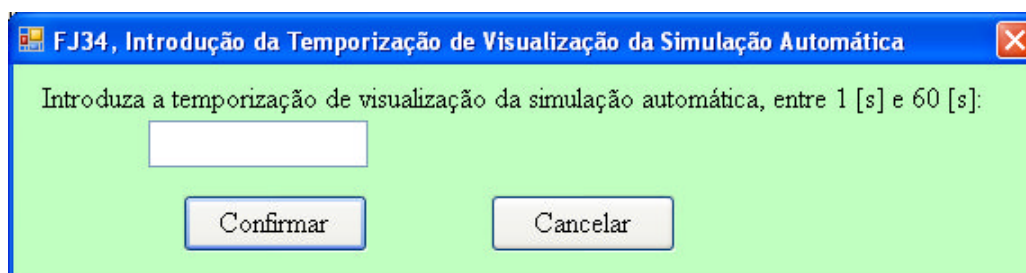
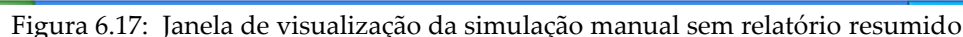


Figura 6.15: Janela de introdução da temporização de visualização da simulação automática



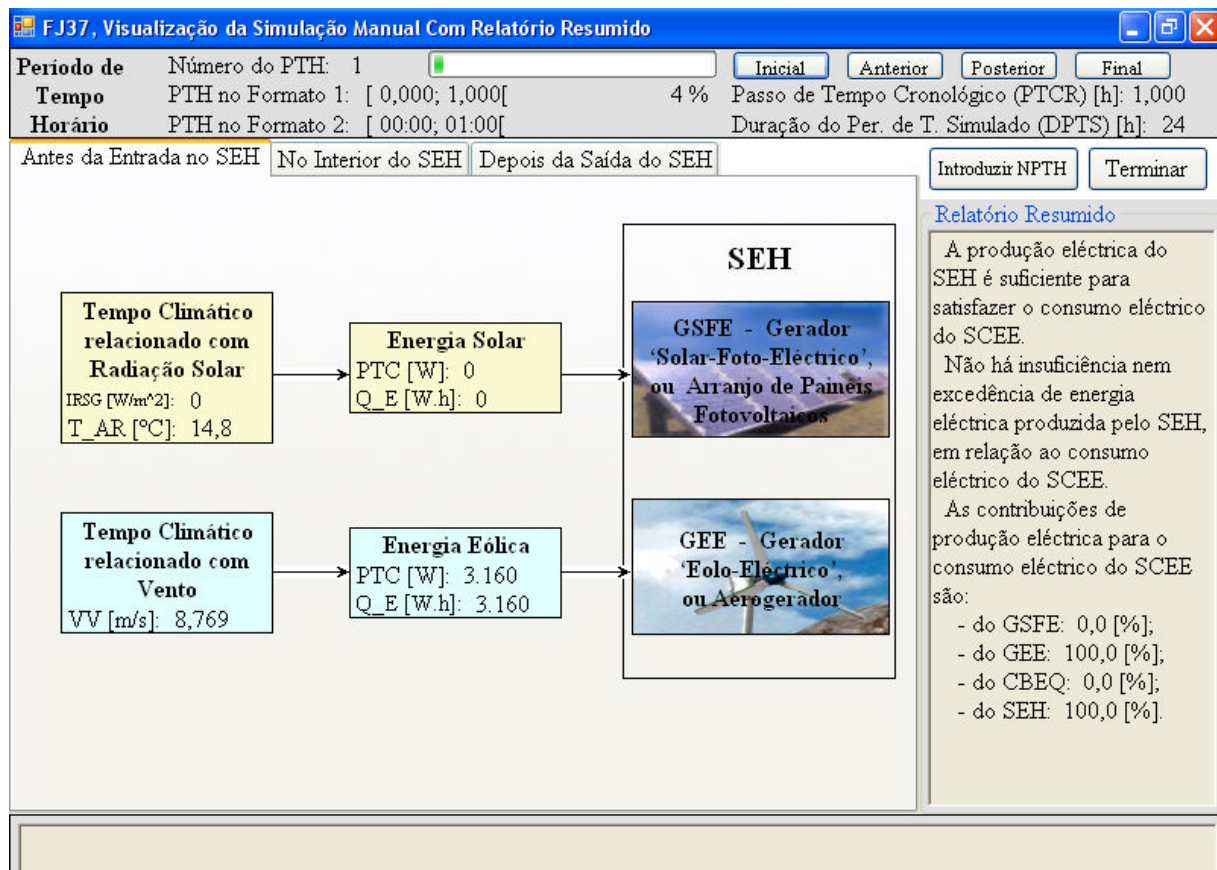


Figura 6.18: Janela de visualização da simulação manual com relatório resumido na parte «Antes da Entrada no SEH»

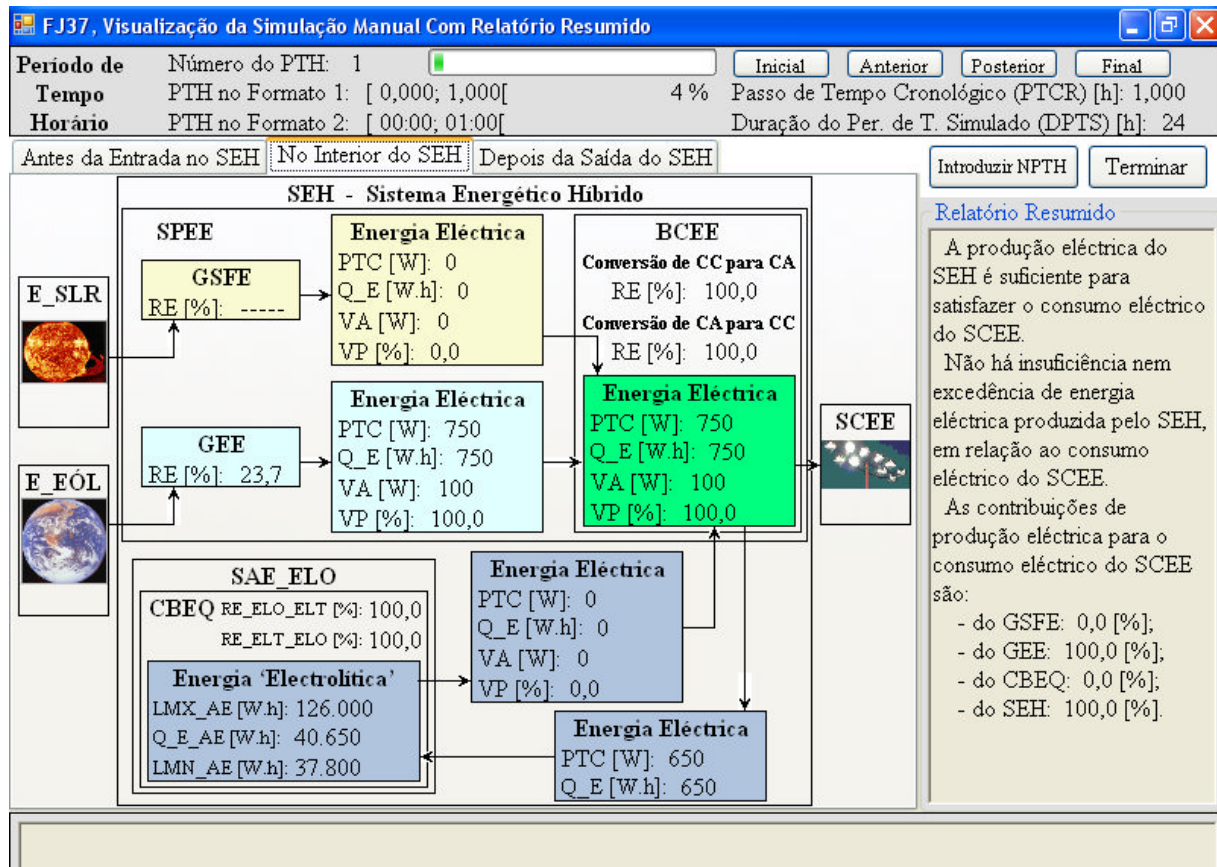


Figura 6.19: Janela de visualização da simulação manual com relatório resumido na parte «No Interior do SEH»

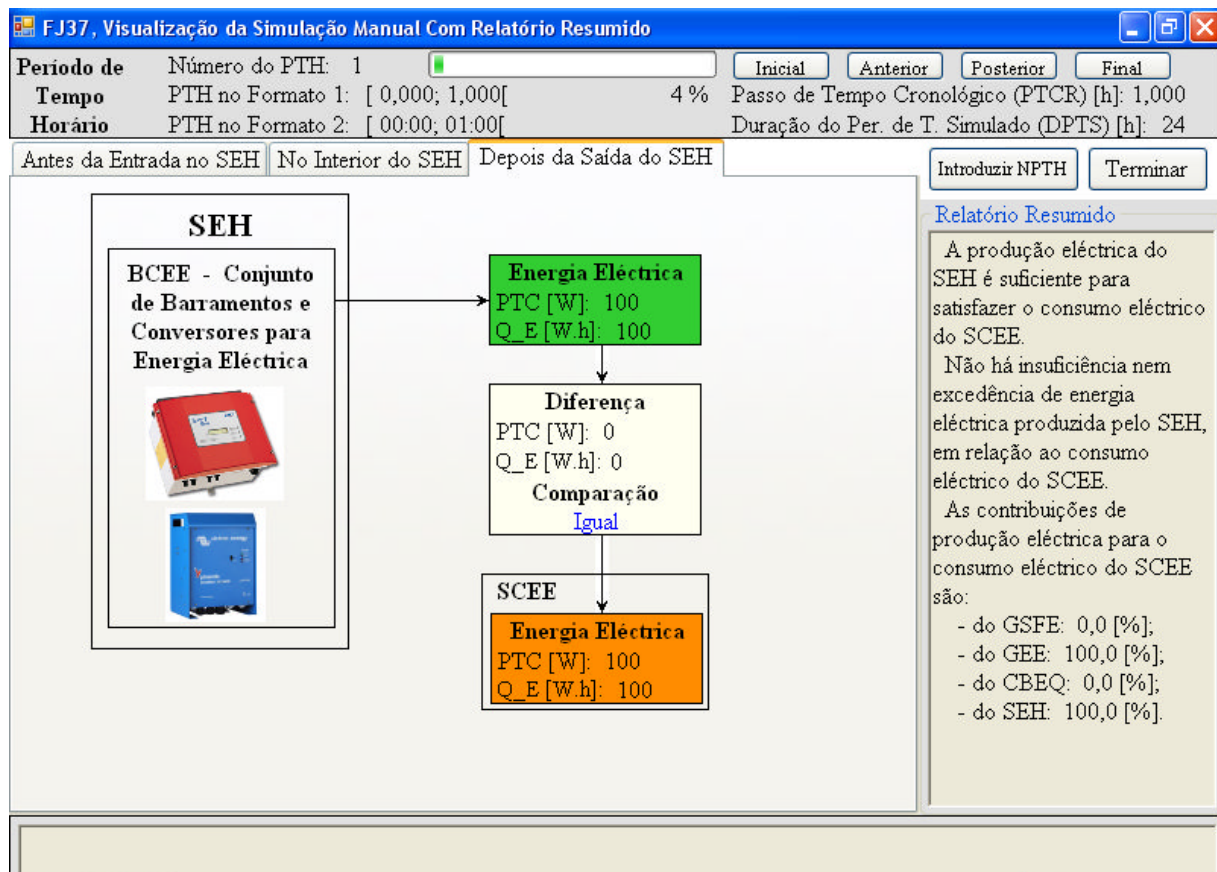


Figura 6.20: Janela de visualização da simulação manual com relatório resumido na parte «Depois da Saída do SEH»

6.1.5 - Outras partes do programa

Na versão 1.0 do programa, serão implementadas futuramente algumas partes, as quais são:

- os comandos para abrir, fechar e guardar um ficheiro geral de dados e resultados (FGDR) no menu «Ficheiro»;
- os comandos nos menus «Resultados» e «Ajuda»;
- as janelas associadas aos botões-de-comando na barra de utensílios;
- as acções principais para ver os resultados da simulação em forma de estatísticas e em forma de gráficos de evolução temporal.

6.2 - Utilização do programa da versão 1.0

Nesta versão do programa de simulação sobre gestão e controlo de um sistema energético híbrido, utilizou-se as duas configurações do sistema energético híbrido (SEH) com componentes arbitrários que foi apresentado no capítulo 5. Após a colocação dos dados da primeira configuração do SEH na base-de-dados, alterou-se os dados do gerador 'solar-foto-eléctrico' (GSFE) pondo-lhe um seguidor do ponto de potência máxima (SPPM) com 95 [%] de rendimento energético e obtendo assim a segunda configuração do SEH. Efectuou-se o cálculo da simulação, o qual demorou 2 [seg], que se apresenta na figura 6.21. Retirando o SPPM ao GSFE para obter novamente a primeira configuração do SEH, calculou-se a simulação que demorou 2 [seg], que se apresenta na figura 6.22.

Na produção eléctrica e no rendimento energético do GSFE, têm valores calculados com pequenas diferenças relativamente aos valores introduzidos na base-de-dados que provêm das folhas-de-cálculo. Essas pequenas diferenças, que são mostradas na tabela 6.1, devem-se ao facto dos valores introduzidos terem uma precisão numérica menor do que a dos valores calculados.

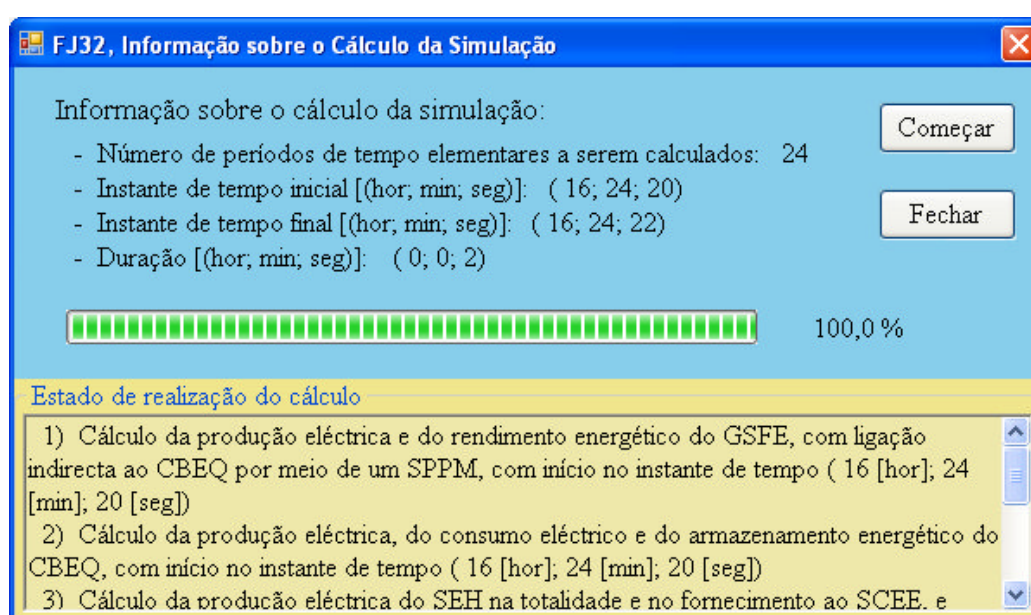


Figura 6.21: Janela de informação sobre o cálculo da simulação do SEH com SPPM

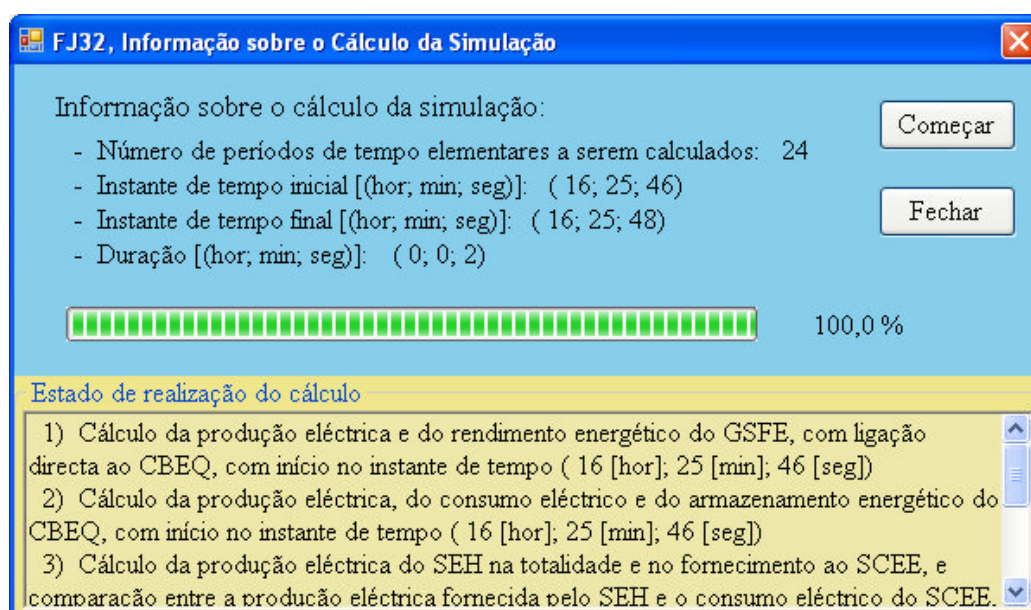


Figura 6.22: Janela de informação sobre o cálculo da simulação do SEH sem SPPM

NPTH	Valores introduzidos		Valores calculados		Diferenças	
	PTC_PE(GSFE, t)	RE(GSFE, t)	PTC_PE(GSFE, t)	RE(GSFE, t)	PTC_PE(GSFE, t)	RE(GSFE, t)
	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]
1	0	-100,0	0	-100,000000	0	0,000000
2	0	-100,0	0	-100,000000	0	0,000000
3	0	-100,0	0	-100,000000	0	0,000000
4	0	-100,0	0	-100,000000	0	0,000000
5	0	-100,0	0	-100,000000	0	0,000000
6	0	-100,0	0	-100,000000	0	0,000000
7	6	9,0	6	8,333334	0	-0,666666
8	47	9,1	47	9,215686	0	0,115686
9	136	9,5	136	9,490579	0	-0,009421
10	258	9,9	258	9,904031	0	0,004031
11	390	10,4	389	10,409420	-1	0,009420
12	494	10,8	493	10,823270	-1	0,023270
13	548	11,1	548	11,084140	0	-0,015860
14	562	11,2	562	11,164080	0	-0,035920
15	552	11,1	552	11,104410	0	0,004410
16	505	10,9	505	10,885970	0	-0,014030
17	407	10,5	407	10,484290	0	-0,015710
18	278	10,0	278	9,996404	0	-0,003596
19	153	9,6	153	9,586466	0	-0,013534
20	57	9,2	57	9,178744	0	-0,021256
21	15	9,0	15	9,090909	0	0,090909
22	5	9,0	5	9,259259	0	0,259259
23	0	-100,0	0	-100,000000	0	0,000000
24	0	-100,0	0	-100,000000	0	0,000000

Tabela 6.1: Comparação entre valores introduzidos e valores calculados dos parâmetros do GSFE com ligação directa ao CBEQ

No sistema energético híbrido (SEH) com componentes arbitrários, considerou-se mais duas situações para além da situação apresentada no capítulo 5, em que se alterou apenas um parâmetro que é a quantidade de energia ‘electrolítica’ armazenada, no conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), no instante de tempo inicial para a simulação ($Q_E_ELO_A(t_0)$). Cada situação corresponde a um dia, e os valores definidos da $Q_E_ELO_A(t_0)$ são:

- para o dia 1 (apresentado no capítulo 5): 40.000 [W.h];
- para o dia 2: 63.000 [W.h];
- para o dia 3: 125.000 [W.h].

Para os dias 2 e 3, também se considerou as duas configurações do SEH, sendo que:

- na 1ª configuração: o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE) tem uma ligação directa ao conjunto de baterias electroquímicas, e não existe o seguidor do ponto de potência máxima;
- na 2ª configuração: o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ tem uma ligação indirecta ao conjunto de baterias electroquímicas através de um seguidor do ponto de potência máxima cujo rendimento energético é 95 [%].

No caso do dia 3, considerou-se outra situação em que se modificou os rendimentos energéticos das transformações de energia no CBEQ, de 100 [%] para 50 [%] . Esta última situação corresponde ao dia 4, e calculou-se a simulação para as duas configurações do SEH.

Os principais gráficos de resultados da simulação são mostrados para o dia 2 desde o gráfico 6.1 até ao gráfico 6.6, para o dia 3 desde o gráfico 6.7 até ao gráfico 6.12, e para o dia 4 desde o gráfico 6.13 até ao gráfico 6.18.

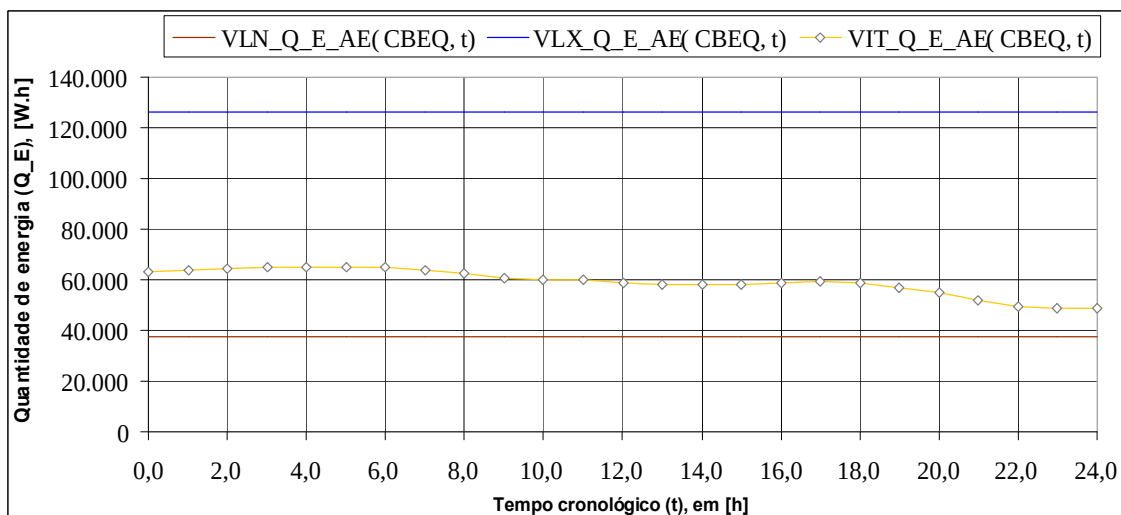


Gráfico 6.1: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH

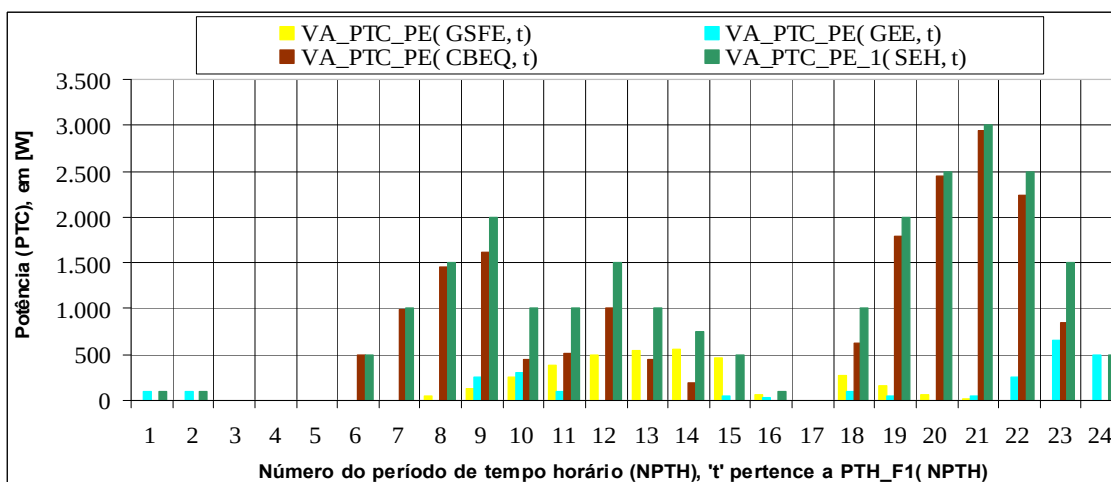


Gráfico 6.2: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH

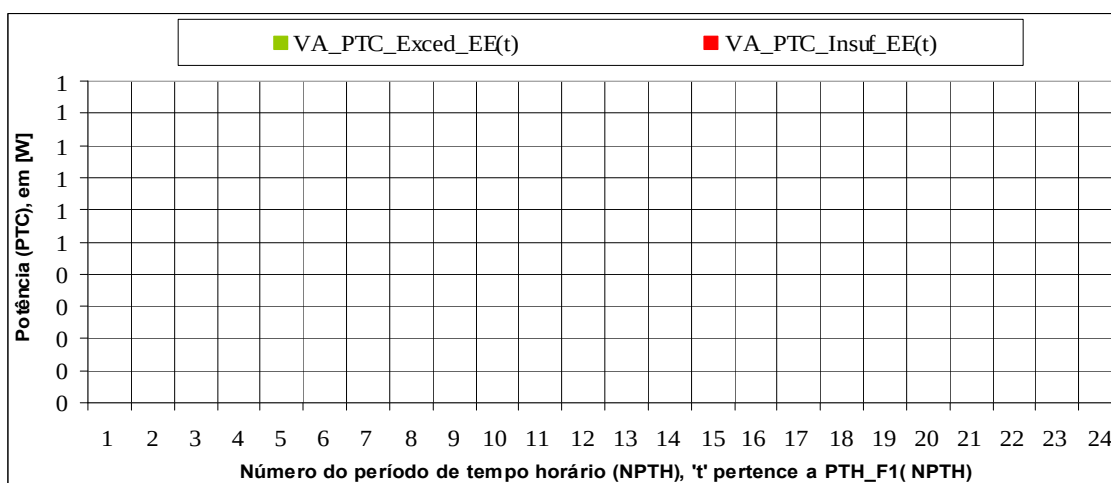


Gráfico 6.3: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH

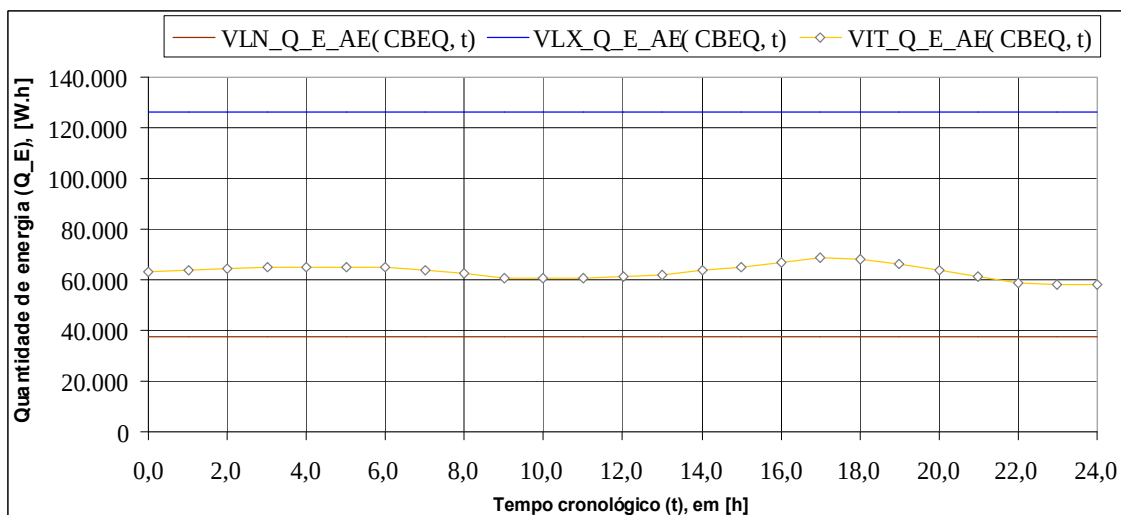


Gráfico 6.4: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH

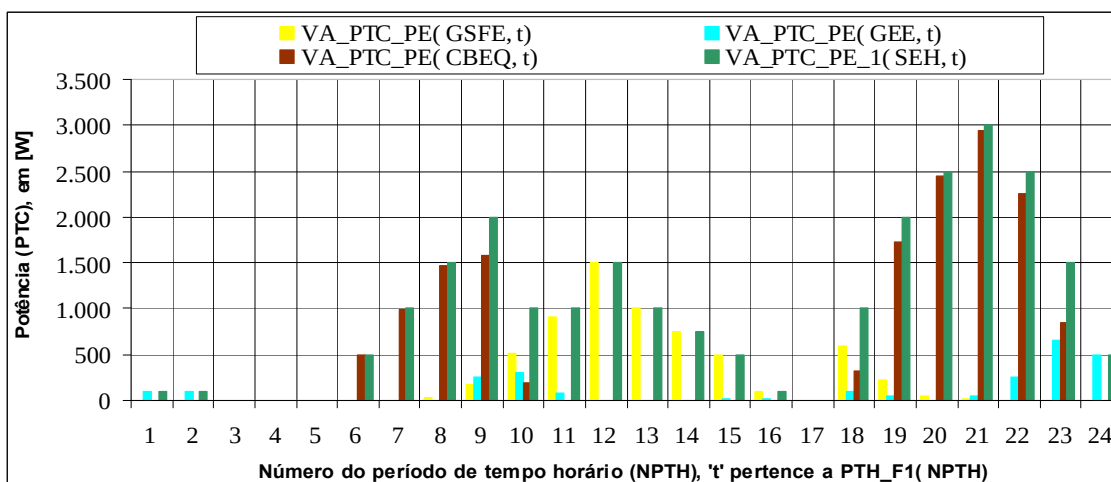


Gráfico 6.5: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH

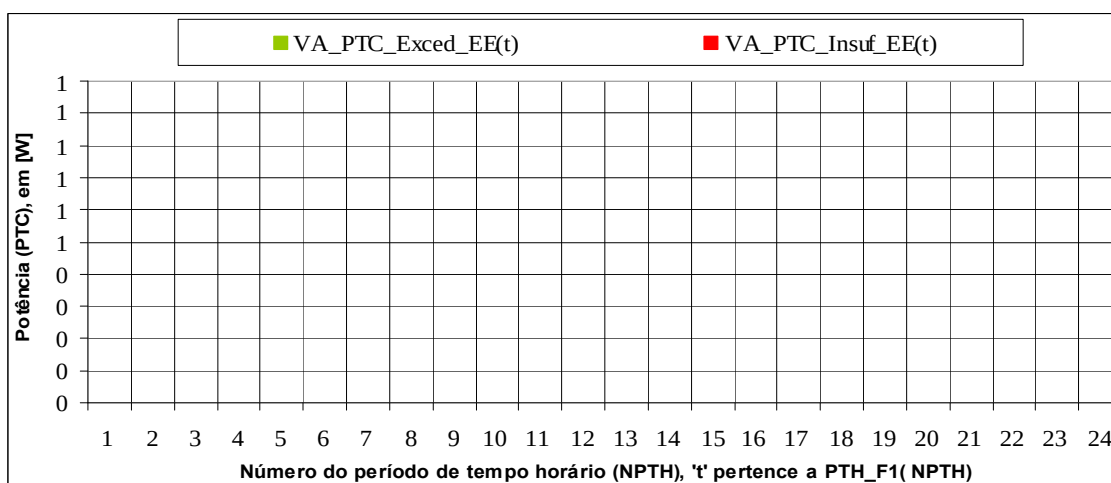


Gráfico 6.6: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH

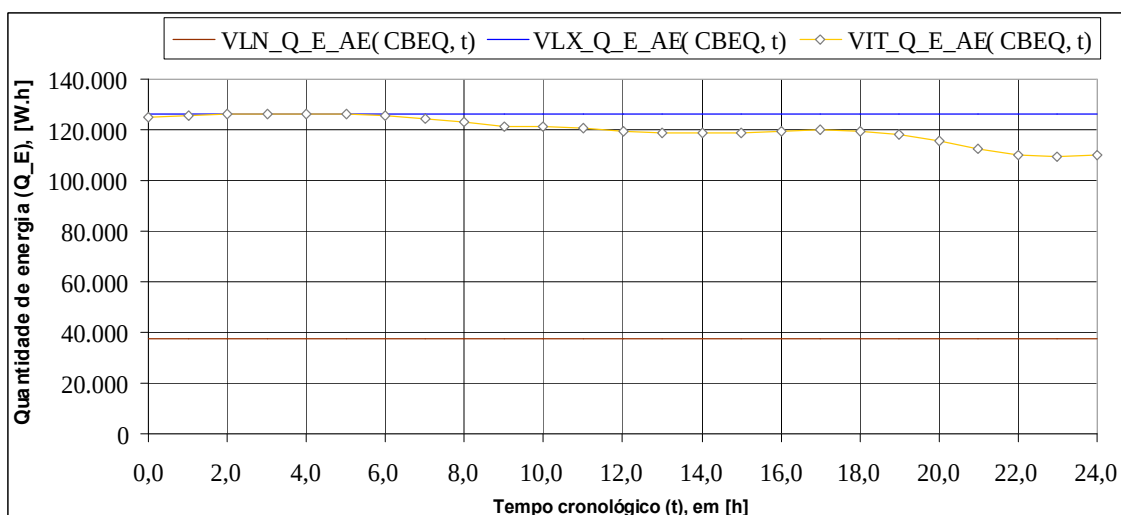


Gráfico 6.7: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH

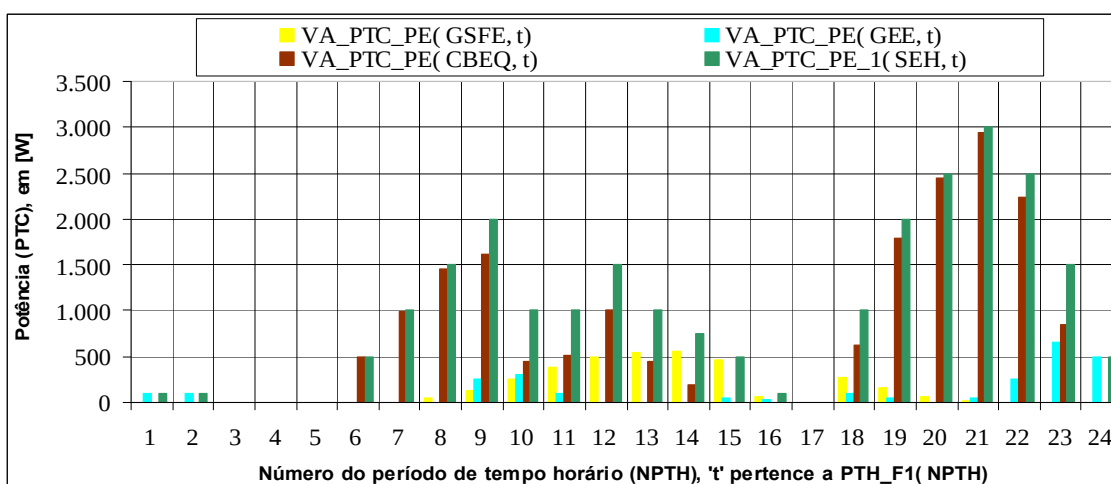


Gráfico 6.8: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH

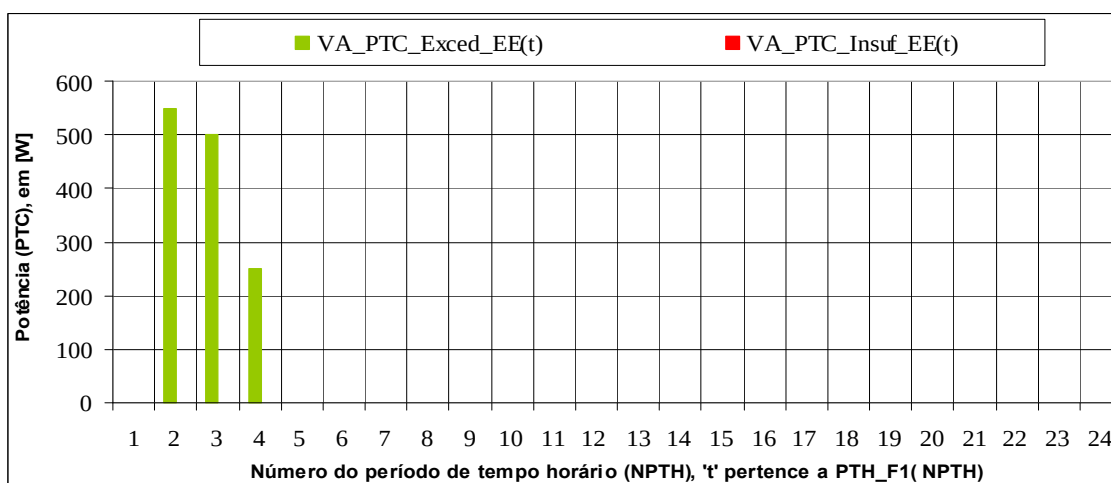


Gráfico 6.9: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH

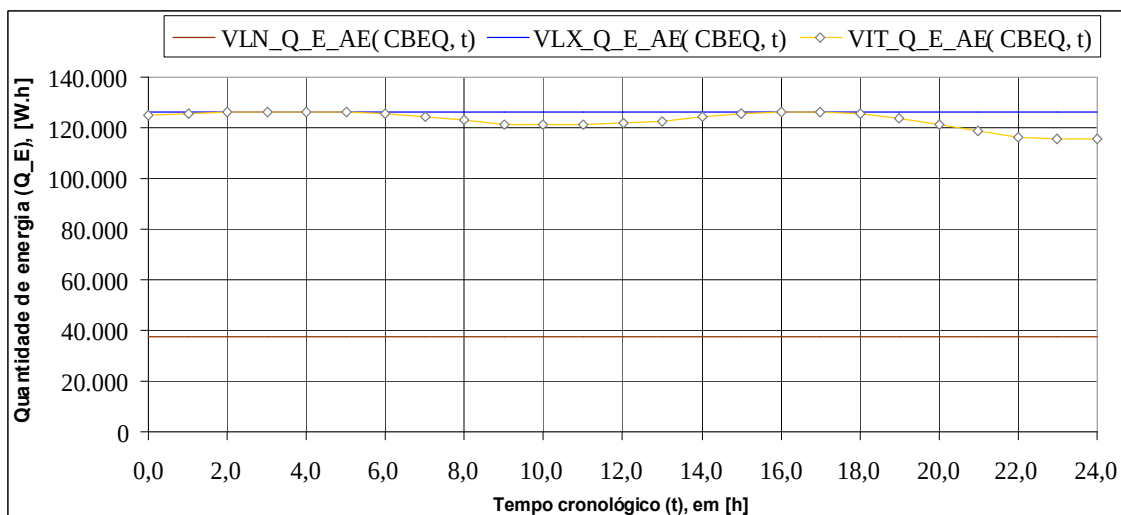


Gráfico 6.10: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 2ª configuração do SEH

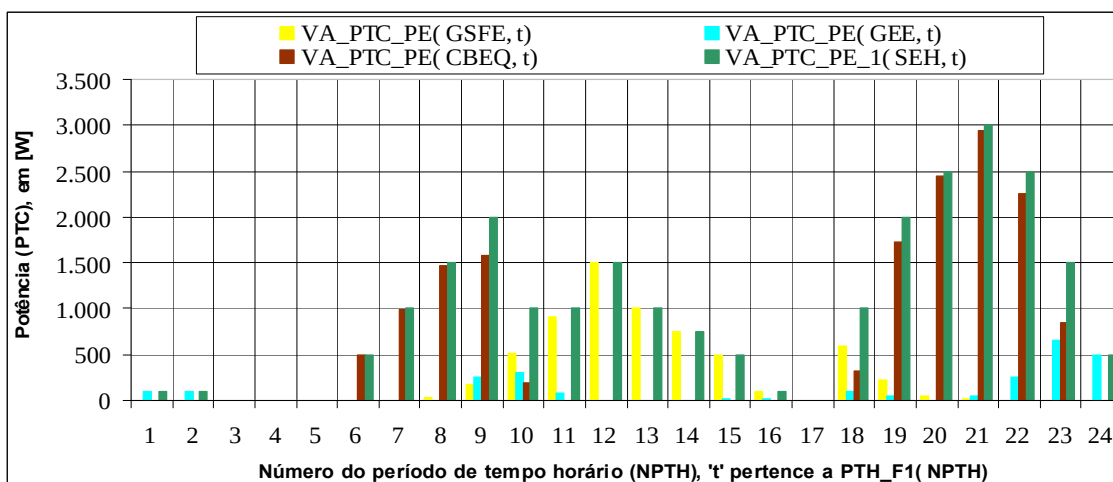


Gráfico 6.11: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 2ª configuração do SEH

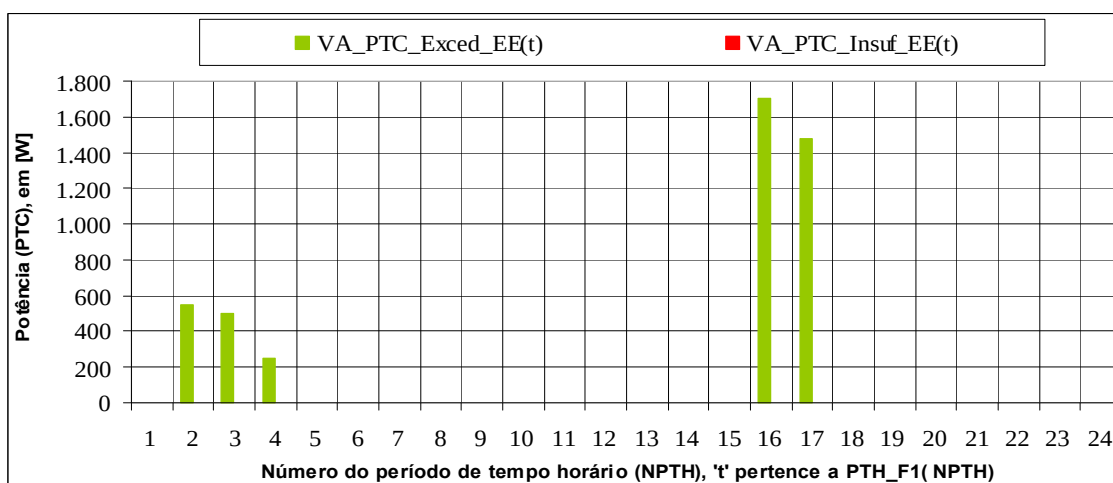


Gráfico 6.12: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 2ª configuração do SEH

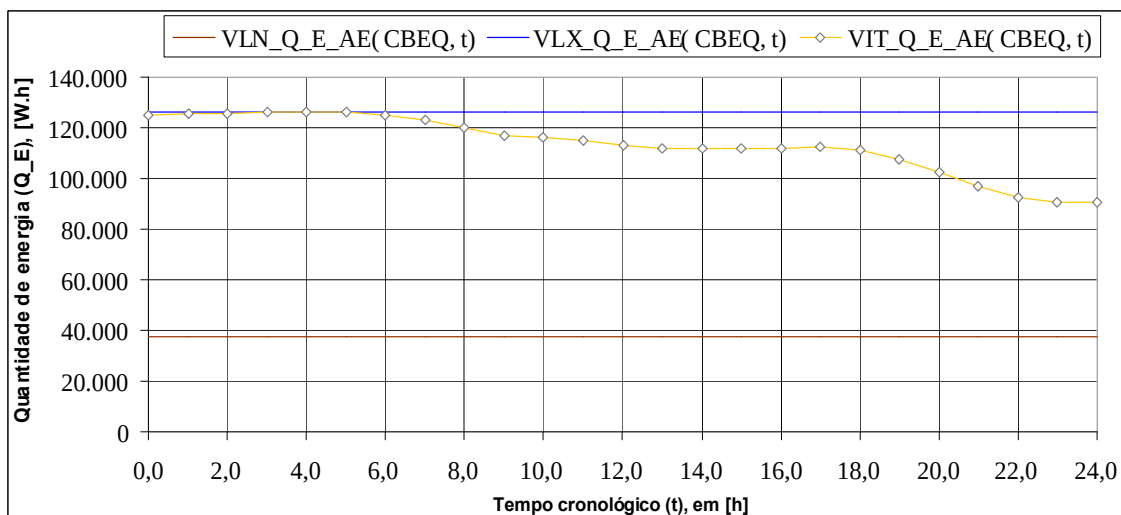


Gráfico 6.13: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH

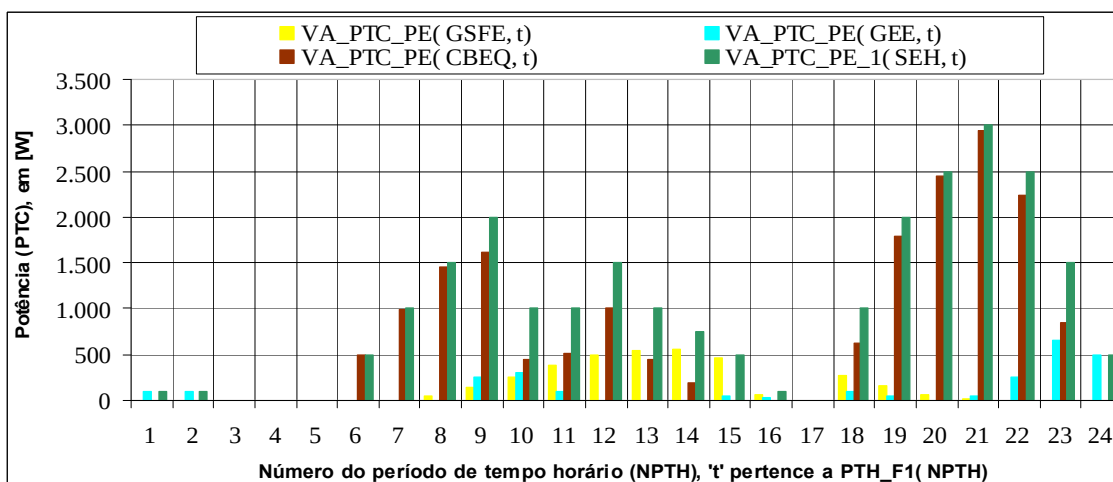


Gráfico 6.14: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH

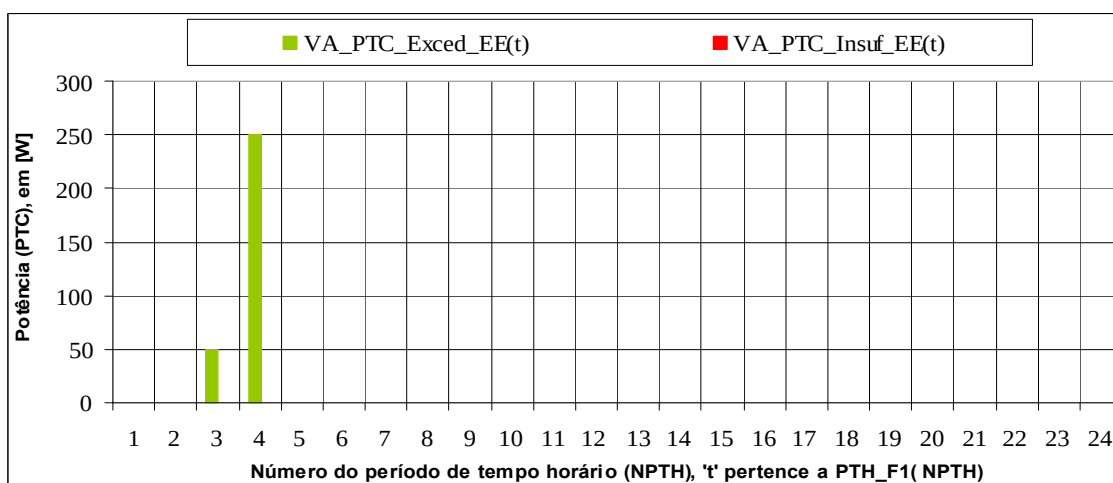


Gráfico 6.15: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH

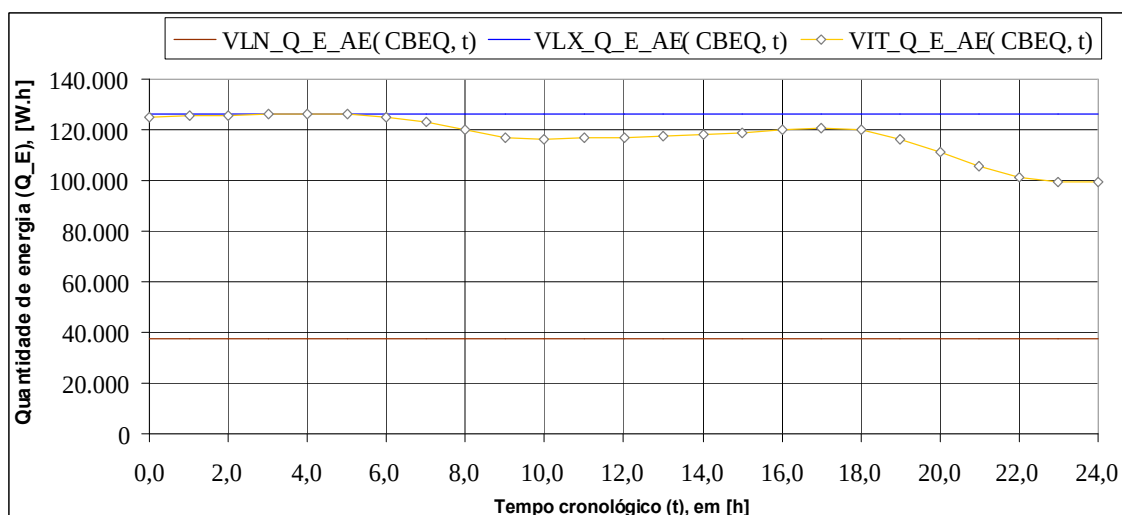


Gráfico 6.16: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 2ª configuração do SEH

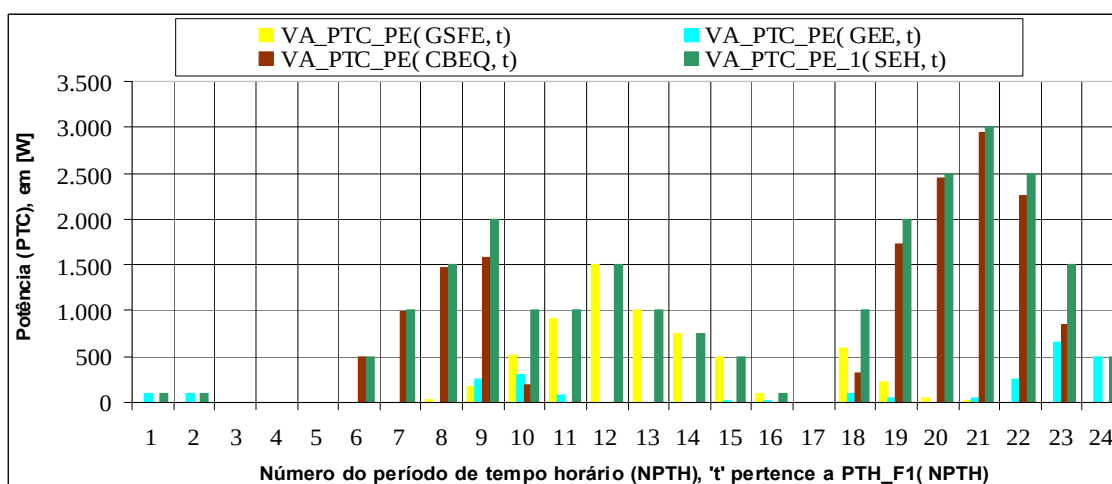


Gráfico 6.17: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 2ª configuração do SEH

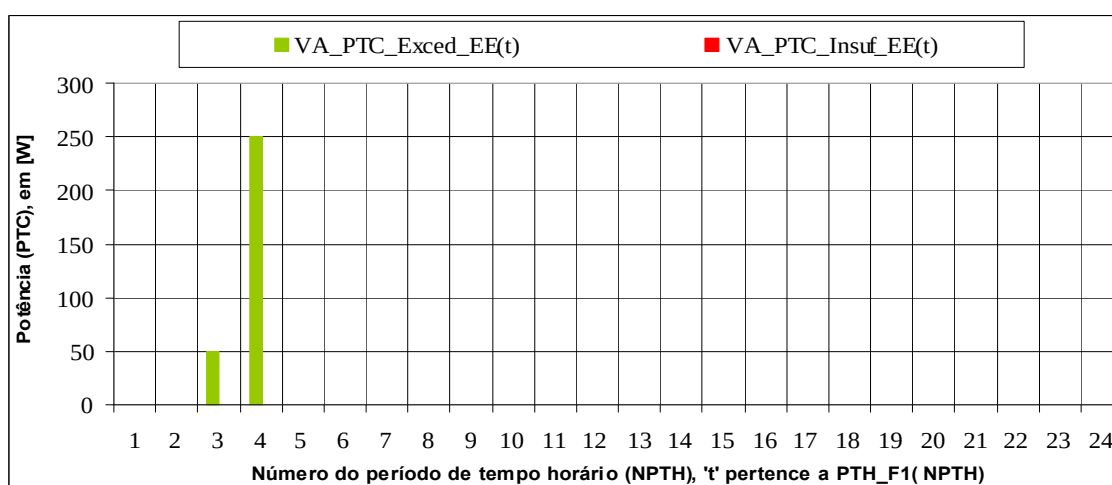


Gráfico 6.18: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 2ª configuração do SEH

No dia 2, não ocorre excedência nem insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do sistema energético híbrido (SEH), para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo (SCEE), e para as duas configurações do SEH, conforme se pode verificar nos gráficos 6.3 e 6.6. No entanto, existe um maior armazenamento energético no conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ) para a 2ª configuração do SEH (gráfico 6.4), do que para a 1ª configuração (gráfico 6.1), porque a produção eléctrica do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE) com seguidor do ponto de potência máxima (SPPM) é maior do que a do GSFE sem SPPM. Para o armazenamento energético inicial do CBEQ com 63 [kW.h], a 2ª configuração do SEH atinge, no fim do dia, um valor aproximado de 59 [kW.h] de armazenamento energético (gráfico 6.4), o qual está bastante próximo do valor inicial. Enquanto que a 1ª configuração do SEH tem um valor aproximado de 49 [kW.h] no fim do dia (gráfico 6.1), o qual é bastante inferior ao valor inicial.

Se as condições do dia 2, excepto o armazenamento energético inicial do CBEQ, se mantivessem para os dias seguintes, então a 1ª configuração do SEH teria um armazenamento energético do CBEQ por mais 1 dia até atingir o limite mínimo de armazenamento energético, e a 2ª configuração do SEH teria um armazenamento energético por mais 4 ou 5 dias.

No dia 3, existe excedência de produção de energia eléctrica do SEH em relação ao consumo eléctrico externo, para ambas as configurações do SEH, podendo-se comprovar nos gráficos 6.9 e 6.12. Para a 1ª configuração do SEH, há excedência de produção eléctrica nos períodos de tempo horários elementares 2, 3 e 4, e para a 2ª configuração do SEH, também há excedência nesses períodos e existe uma excedência bastante elevada de produção eléctrica nos períodos de tempo horários elementares 16 e 17. Na 1ª configuração do SEH (gráfico 6.7), existe um desperdício aproximado de 1 [kW.h] para o armazenamento energético do CBEQ, enquanto que na 2ª configuração do SEH (gráfico 6.10), esse desperdício é aproximadamente de 4 [kW.h].

Caso se mantenha as condições do dia 3 para os dias posteriores, excepto o armazenamento energético do CBEQ no instante inicial de cada dia, então a 1ª configuração do SEH teria um armazenamento energético do CBEQ por mais 5 ou 6 dias até atingir o limite mínimo de armazenamento energético, e a 2ª configuração do SEH teria um armazenamento energético por mais 16 ou 17 dias.

No dia 4, existe excedência de produção de energia eléctrica do SEH relativamente ao consumo eléctrico externo, nos períodos de tempo horários elementares 3 e 4, para ambas as configurações do SEH, tal como se pode conferir nos gráficos 6.15 e 6.18. O desperdício de energia eléctrica é quase igual para as duas configurações do SEH, e é menor do que no dia 3.

Mantendo as condições do dia 4 para os dias subsequentes em que o valor integrativo da quantidade de energia do armazenamento energético do CBEQ no instante 0 [h] de um dia é igual ao mesmo parâmetro no instante quase 24 [h] do dia anterior, então a 1ª configuração do SEH (gráfico 6.13) teria um armazenamento energético do CBEQ por mais 1 ou 2 dias até atingir o limite mínimo de armazenamento energético, e a 2ª configuração do SEH (gráfico 6.16) teria um armazenamento energético por mais 6 ou 7 dias. A redução do período de autonomia energética do SEH no dia 4 em relação ao dia 3, deve-se ao facto dos rendimentos energéticos das transformações de energia no CBEQ serem metade para o dia 4 em relação aos rendimentos energéticos do dia 3, o que implica a existência de perdas energéticas significativas no CBEQ para o dia 4.

Capítulo 7 - Validação dos algoritmos por adaptação do programa a alguns SEH's

7.1 - Adaptação do programa de simulação sobre gestão e controlo ao SEH existente no edifício J da FEUP

Nesta adaptação do programa de simulação, manteve-se a estrutura de componentes do sistema energético global relativamente à versão 1.0 do programa, mas alterou-se as características dos componentes simples alteráveis para simular o funcionamento de um sistema energético híbrido (SEH) com componentes existentes no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

7.1.1 - Apresentação do programa da versão 1.5

Na versão 1.5 do programa de simulação sobre gestão e controlo de um sistema energético híbrido (SGC_SEH), as janelas iniciais, que são mostradas nas figuras 7.1 e 7.2, e a janela principal, que é mostrada na figura 7.3, são quase iguais às da versão 1.0 do programa existindo apenas pequenas diferenças. As restantes janelas do programa são iguais em ambas as versões do programa.

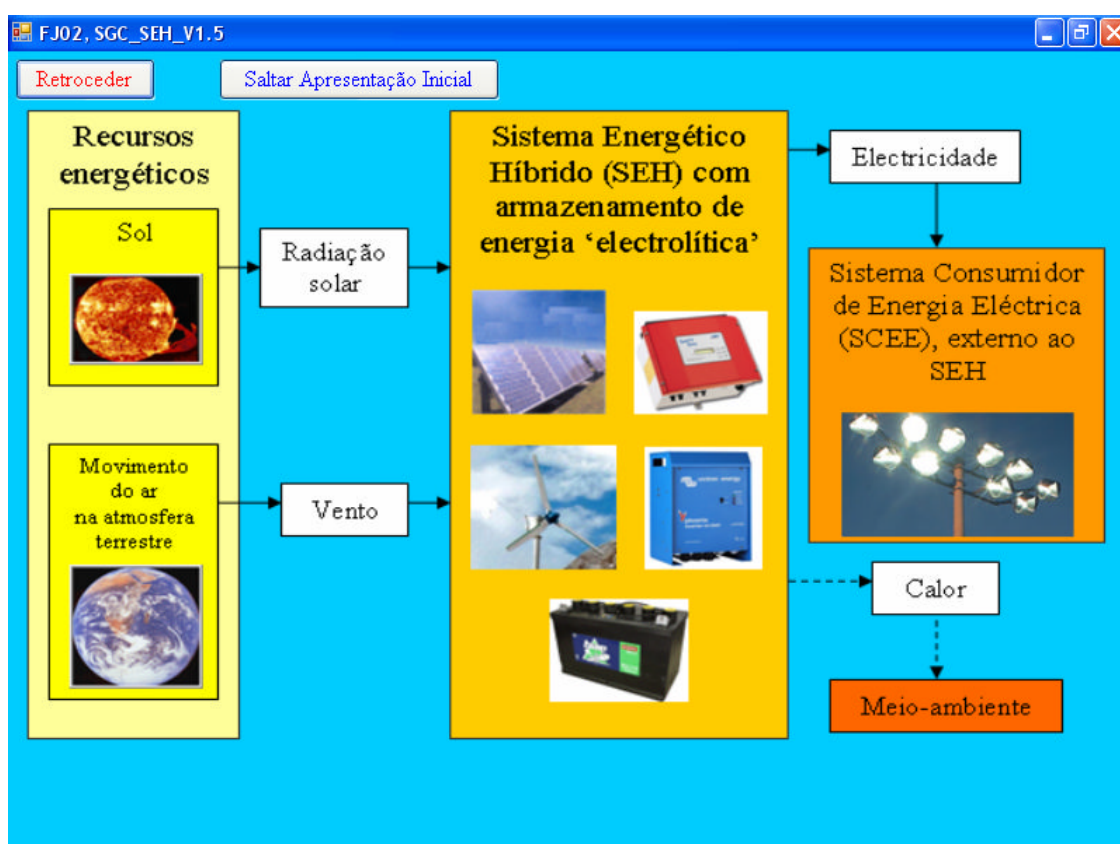


Figura 7.1: Janela inicial 2, do programa da versão 1.5

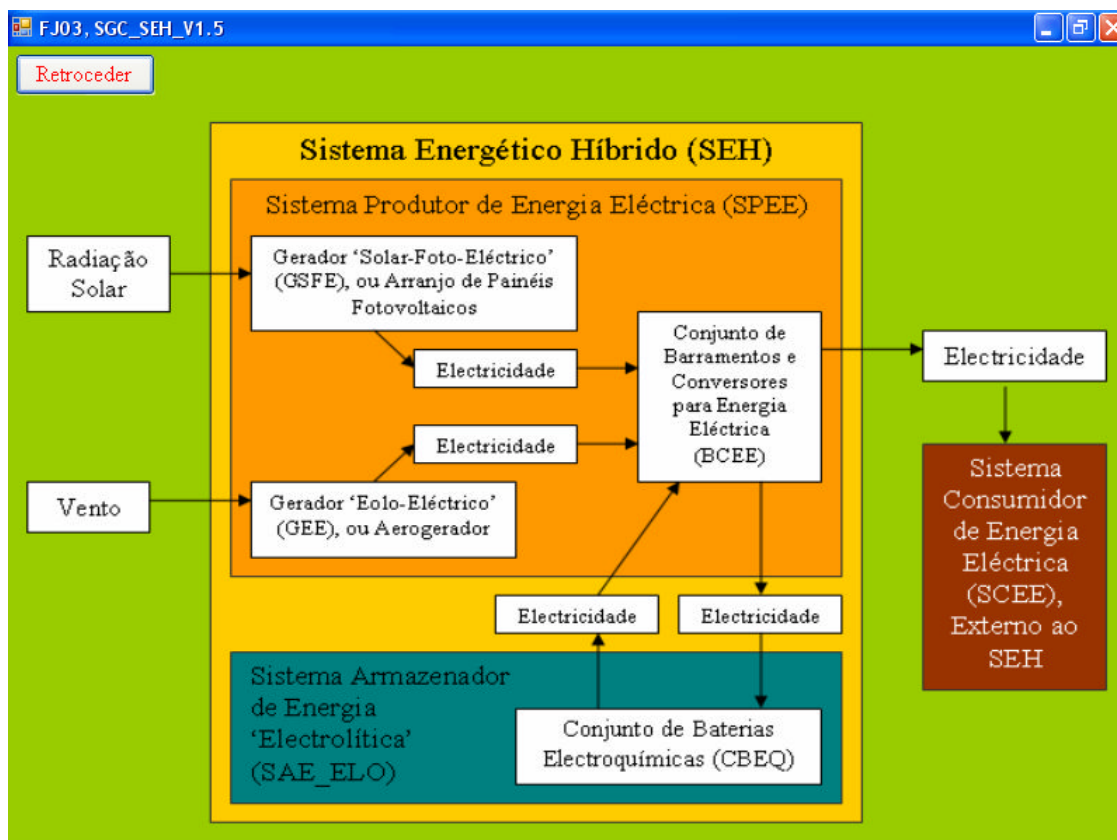


Figura 7.2: Janela inicial 3, do programa da versão 1.5

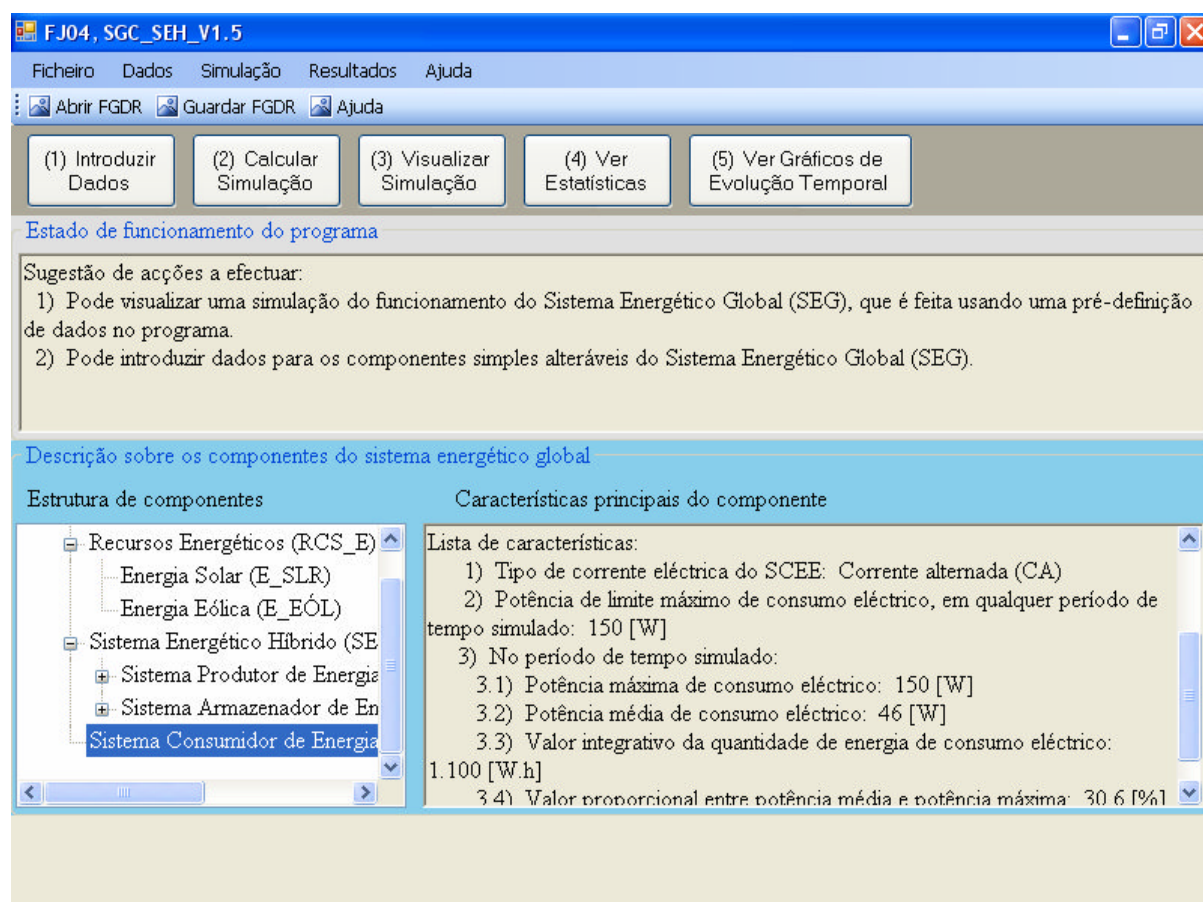


Figura 7.3: Janela principal, do programa da versão 1.5

7.1.2 - Utilização do programa da versão 1.5

Nesta versão do programa de simulação sobre gestão e controlo de um sistema energético híbrido (SGC_SEH), utiliza-se as duas configurações do sistema energético híbrido (SEH) com componentes existentes no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), que foi apresentado no capítulo 5.

O gerador 'solar-foto-eléctrico' (GSFE) existente tem dois painéis fotovoltaicos diferentes em que um painel fotovoltaico tem 54 [W] de potência e o outro tem 58 [W], e como esta versão do programa só permite introduzir dados de um tipo de painel fotovoltaico, então para a utilização do programa, foi necessário experimentar três configurações do GSFE, cujos códigos de configuração e características principais são:

- «P54B»: o GSFE tem 2 painéis fotovoltaicos com a potência de 54 [W];
- «P56M»: o GSFE tem 2 painéis fotovoltaicos com a potência de 56 [W] e com valores médios dos parâmetros diferentes entre o painel fotovoltaico de 54 [W] e o painel fotovoltaico de 58 [W];
- «P58A»: o GSFE tem 2 painéis fotovoltaicos com a potência de 58 [W].

Para testar as três configurações do GSFE, obteve-se os dados das folhas-de-cálculo em que se simula a gestão operacional diária do SEH com dois painéis fotovoltaicos diferentes. Colocou-se esses dados na base-de-dados do programa, e alterou-se os dados do GSFE introduzindo as características do painel fotovoltaico e pondo um seguidor do ponto de potência máxima (SPPM) com 95 [%] de rendimento energético. Calculou-se a simulação, e em seguida, fez-se o processo inverso retirando o SPPM e calculando novamente a simulação.

Legenda dos parâmetros das tabelas:

NPTH → número do período de tempo horário (PTH) elementar, $t \in \text{PTH}(\text{NPTH})$

P → potência da produção eléctrica do gerador 'solar-foto-eléctrico' (GSFE), em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt" [W]

$$P = \text{PTC_PE}(\text{GSFE}, t) = \text{PTC_ELT_P}(\text{GSFE}, t)$$

R → rendimento energético do gerador 'solar-foto-eléctrico' (GSFE), em função do tempo cronológico (t), expresso em percentagem [%]

$$R = \text{RE}(\text{GSFE}, t)$$

NPTH	Valores introduzidos		Valores calculados						Diferenças entre valores calculados e valores introduzidos					
			P54B		P56M		P58A		P54B		P56M		P58A	
	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R
	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]
1	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
2	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
3	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
4	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
5	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
6	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
7	1	3,2	1	2,777778	1	2,777778	1	2,777778	0	-0,422222	0	-0,422222	0	-0,422222
8	6	3,2	6	3,125000	6	3,125000	6	3,125000	0	-0,075000	0	-0,075000	0	-0,075000
9	16	3,2	16	3,252032	16	3,252032	16	3,252032	0	0,052032	0	0,052032	0	0,052032
10	28	3,2	28	3,203661	28	3,203661	28	3,203661	0	0,003661	0	0,003661	0	0,003661
11	41	3,2	41	3,261734	41	3,261734	40	3,182180	0	0,061734	0	0,061734	-1	-0,017820
12	51	3,3	51	3,273427	51	3,273427	50	3,209243	0	-0,026573	0	-0,026573	-1	-0,090757
13	57	3,3	57	3,294798	57	3,294798	56	3,236994	0	-0,005202	0	-0,005202	-1	-0,063006
14	58	3,3	59	3,307175	58	3,251121	58	3,251121	1	0,007175	0	-0,048879	0	-0,048879
15	57	3,3	58	3,325688	57	3,268349	57	3,268349	1	0,025688	0	-0,031651	0	-0,031651
16	52	3,3	52	3,266332	52	3,266332	51	3,203518	0	-0,033668	0	-0,033668	-1	-0,096482
17	42	3,2	43	3,287462	42	3,211009	42	3,211009	1	0,087462	0	0,011009	0	0,011009
18	30	3,2	30	3,215434	30	3,215434	30	3,215434	0	0,015434	0	0,015434	0	0,015434
19	17	3,2	18	3,302752	17	3,119266	17	3,119266	1	0,102752	0	-0,080734	0	-0,080734
20	7	3,2	7	3,070175	7	3,070175	7	3,070175	0	-0,129825	0	-0,129825	0	-0,129825
21	2	3,2	2	3,278688	2	3,278688	2	3,278688	0	0,078688	0	0,078688	0	0,078688
22	0	3,2	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	-3,200000	0	-3,200000	0	-3,200000
23	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
24	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000

Tabela 7.1: Comparação entre valores introduzidos e valores calculados dos parâmetros do GSFE com ligação directa ao CBEQ

NPTH	Valores introduzidos		Valores calculados						Diferenças entre valores calculados e valores introduzidos					
			P54B		P56M		P58A		P54B		P56M		P58A	
	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R
	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]
1	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
2	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
3	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
4	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
5	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
6	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
7	1	2,2	1	2,777778	1	2,777778	1	2,777778	0	0,577778	0	0,577778	0	0,577778
8	7	3,6	7	3,645833	7	3,645833	7	3,645833	0	0,045833	0	0,045833	0	0,045833
9	32	6,4	31	6,300813	32	6,504065	33	6,707317	-1	-0,099187	0	0,104065	1	0,307317
10	92	10,5	88	10,068650	91	10,411900	95	10,869560	-4	-0,431350	-1	-0,088100	3	0,369560
11	193	15,3	185	14,717580	193	15,354020	201	15,990450	-8	-0,582420	0	0,054020	8	0,690450
12	303	19,4	290	18,613610	302	19,383830	315	20,218230	-13	-0,786390	-1	-0,016170	12	0,818230
13	381	22,0	365	21,098270	381	22,023120	397	22,947980	-16	-0,901730	0	0,023120	16	0,947980
14	409	23,0	393	22,029150	410	22,982060	427	23,934980	-16	-0,970850	1	-0,017940	18	0,934980
15	388	22,3	372	21,330270	388	22,247710	405	23,222480	-16	-0,969730	0	-0,052290	17	0,922480
16	317	19,9	304	19,095480	317	19,912060	330	20,728640	-13	-0,804520	0	0,012060	13	0,828640
17	209	16,0	201	15,366970	209	15,978590	218	16,666670	-8	-0,633030	0	-0,021410	9	0,666670
18	105	11,2	101	10,825300	105	11,254020	109	11,682740	-4	-0,374700	0	0,054020	4	0,482740
19	41	7,5	39	7,155963	41	7,522935	43	7,889909	-2	-0,344037	0	0,022935	2	0,389909
20	9	3,9	9	3,947368	9	3,947368	9	3,947368	0	0,047368	0	0,047368	0	0,047368
21	1	2,4	1	1,639344	1	1,639344	2	3,278688	0	-0,760656	0	-0,760656	1	0,878688
22	0	1,9	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	-1,900000	0	-1,900000	0	-1,900000
23	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000
24	0	-100,0	0	-100,000000	0	-100,000000	0	-100,000000	0	0,000000	0	0,000000	0	0,000000

Tabela 7.2: Comparação entre valores introduzidos e valores calculados dos parâmetros do GSFE com ligação indirecta ao CBEQ através de um SPPM

No sistema energético híbrido (SEH) sem seguidor do ponto de potência máxima (SPPM), todos os valores calculados da produção eléctrica do gerador 'solar-foto-eléctrico' (GSFE) são iguais aos valores introduzidos na base-de-dados, para a configuração de GSFE «P56M», e existem diferenças pouco significativas de +1 [W] para «P54B» e de -1 [W] para «P58A» em alguns períodos de tempo horários elementares, tal como se pode comprovar na tabela 7.1.

Nesta configuração de SEH, o rendimento energético do GSFE tem pequenas diferenças entre os valores calculados e os valores introduzidos em quase todos os períodos de tempo horários em que há produção eléctrica do GSFE, excepto no período de tempo horário 22 para o qual as diferenças, nas três configurações de GSFE, são significativas por causa de erros de arredondamento na produção eléctrica. Nos períodos de tempo horários para os quais o rendimento energético do GSFE é -100 [%], significa que não existe disponibilidade do recurso energético solar, e por consequência a produção eléctrica do GSFE é nula e não pode haver rendimento energético.

No sistema energético híbrido com seguidor do ponto de potência máxima, a produção eléctrica do gerador 'solar-foto-eléctrico' tem valores calculados iguais aos valores introduzidos na base-de-dados em quase todos os períodos de tempo horários elementares para a configuração de GSFE «P56M», e as poucas diferenças existentes são de -1 [W] e de +1 [W], podendo-se conferir na tabela 7.2. Para a configuração «P54B», existem diferenças que são todas negativas e o valor absoluto da diferença aumenta com o aumento da disponibilidade do recurso energético solar. Para a configuração «P58A», existem diferenças que são todas positivas e o valor da diferença aumenta conforme o aumento da disponibilidade do recurso energético solar.

Nesta configuração de SEH, o rendimento energético do GSFE tem pequenas diferenças entre os valores calculados e os valores introduzidos em quase todos os períodos de tempo horários em que existe produção eléctrica do GSFE, exceptuando o período de tempo horário 22 que é semelhante ao do SEH sem SPPM.

A melhor configuração de GSFE, para utilizar no programa de simulação sobre gestão e controlo de um sistema energético híbrido (SGC_SEH), é «P56M», na qual o painel fotovoltaico tem os valores médios das características diferentes dos dois painéis fotovoltaicos existentes no edifício J da FEUP, porque é a configuração que tem menos diferenças e as de menor valor entre os valores calculados e os valores introduzidos.

Para além da situação apresentada no capítulo 5 em relação ao sistema energético híbrido (SEH) com componentes existentes no edifício J da FEUP, considerou-se mais três situações em que se alterou a velocidade do vento em função do tempo cronológico ($VV(t)$) e a quantidade de energia 'electrolítica' armazenada, no conjunto de baterias electroquímicas no instante de tempo inicial para a simulação ($Q_E_ELO_A(t_0)$). Cada situação corresponde a um dia, e os valores definidos da $Q_E_ELO_A(t_0)$ são:

- para o dia 1 (apresentado no capítulo 5): 838 [W.h];
- para o dia 2: 838 [W.h];
- para o dia 3: 1.320 [W.h];
- para o dia 4: 2.619 [W.h].

Também se considerou, para os dias de 2 a 4, as duas configurações do SEH, sendo que:

- na 1ª configuração: o gerador 'solar-foto-eléctrico' tem uma ligação directa ao conjunto de baterias electroquímicas, e não existe o seguidor do ponto de potência máxima;
- na 2ª configuração: o gerador 'solar-foto-eléctrico' tem uma ligação indirecta ao conjunto de baterias electroquímicas através de um seguidor do ponto de potência máxima cujo rendimento energético é 95 [%].

NPTH	PTH_F1		PTH_F2		I_RS_G(t)	T_AR(t)	VV(t)	CE(SCEE, t)
	[ITI_F1; ITF_F1 [		[ITI_F2; ITF_F2 [					
	ITI_F1	ITF_F1	ITI_F2	ITF_F2				
	[h]	[h]	[hor]:[min]	[hor]:[min]				
1	0,000	1,000	00:00	01:00	0,000	14,8	0,000	150
2	1,000	2,000	01:00	02:00	0,000	14,8	0,000	150
3	2,000	3,000	02:00	03:00	0,000	14,8	2,000	150
4	3,000	4,000	03:00	04:00	0,000	14,8	1,000	150
5	4,000	5,000	04:00	05:00	0,000	14,8	2,000	100
6	5,000	6,000	05:00	06:00	0,000	14,8	1,000	0
7	6,000	7,000	06:00	07:00	29,709	15,0	0,000	0
8	7,000	8,000	07:00	08:00	120,095	15,7	1,000	0
9	8,000	9,000	08:00	09:00	266,863	17,4	1,000	0
10	9,000	10,000	09:00	10:00	453,565	20,4	0,000	0
11	10,000	11,000	10:00	11:00	653,326	25,2	0,000	0
12	11,000	12,000	11:00	12:00	832,637	29,5	1,500	0
13	12,000	13,000	12:00	13:00	958,964	32,6	0,500	0
14	13,000	14,000	13:00	14:00	1.008,415	33,8	0,000	0
15	14,000	15,000	14:00	15:00	971,458	32,9	0,500	0
16	15,000	16,000	15:00	16:00	855,226	30,1	1,000	0
17	16,000	17,000	16:00	17:00	681,790	25,9	1,500	0
18	17,000	18,000	17:00	18:00	482,868	21,2	1,000	0
19	18,000	19,000	18:00	19:00	292,327	19,0	2,000	0
20	19,000	20,000	19:00	20:00	138,437	15,9	2,000	0
21	20,000	21,000	20:00	21:00	37,847	15,1	0,800	0
22	21,000	22,000	21:00	22:00	1,043	14,8	0,000	100
23	22,000	23,000	22:00	23:00	0,000	14,8	0,000	150
24	23,000	24,000	23:00	00:00	0,000	14,8	1,200	150

Tabela 7.3: Dados para os parâmetros do tempo climático e para o consumo eléctrico do SCEE

Nos dias de 2 a 4, não há aproveitamento energético do vento pelo gerador 'eolo-eléctrico' (GEE), porque a velocidade do vento em função do tempo cronológico ($VV(t)$), que é apresentada na tabela 7.3, é menor do que o limite mínimo para o funcionamento do GEE durante cada dia.

Em seguida, exibe-se os principais gráficos de resultados da simulação para os dias 2, 3 e 4 desde o gráfico 7.1 até ao gráfico 7.3, para o dia 2 desde o gráfico 7.4 até ao gráfico 7.9, para o dia 3 desde o gráfico 7.10 até ao gráfico 7.15, e para o dia 4 desde o gráfico 7.16 até ao gráfico 7.21.

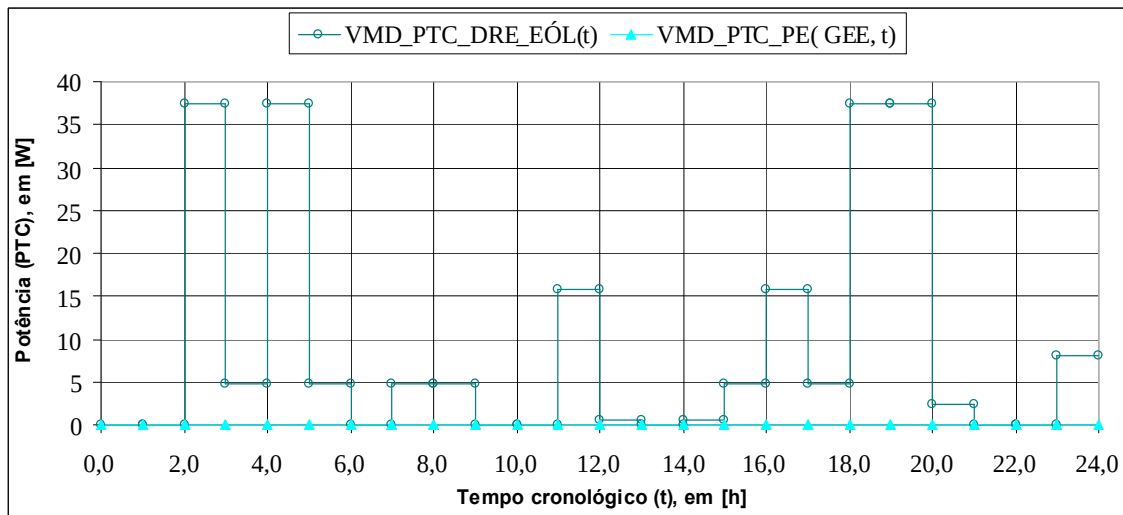


Gráfico 7.1: Valores médios da potência de disponibilidade do recurso energético eólico e da potência de produção eléctrica do GEE, em função do tempo cronológico, para os dias de 2 a 4 e para as duas configurações do SEH

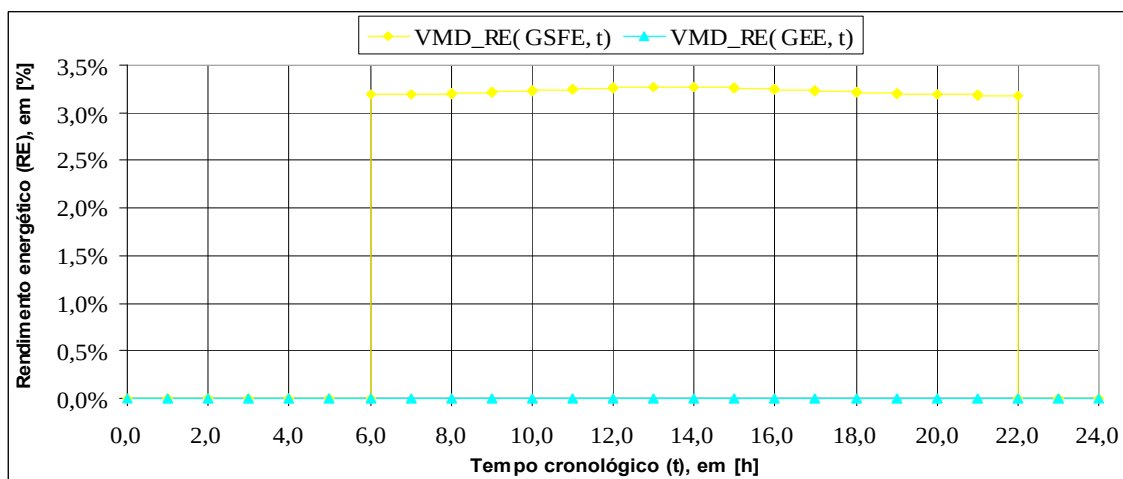


Gráfico 7.2: Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico, para os dias de 2 a 4 e para a 1ª configuração do SEH

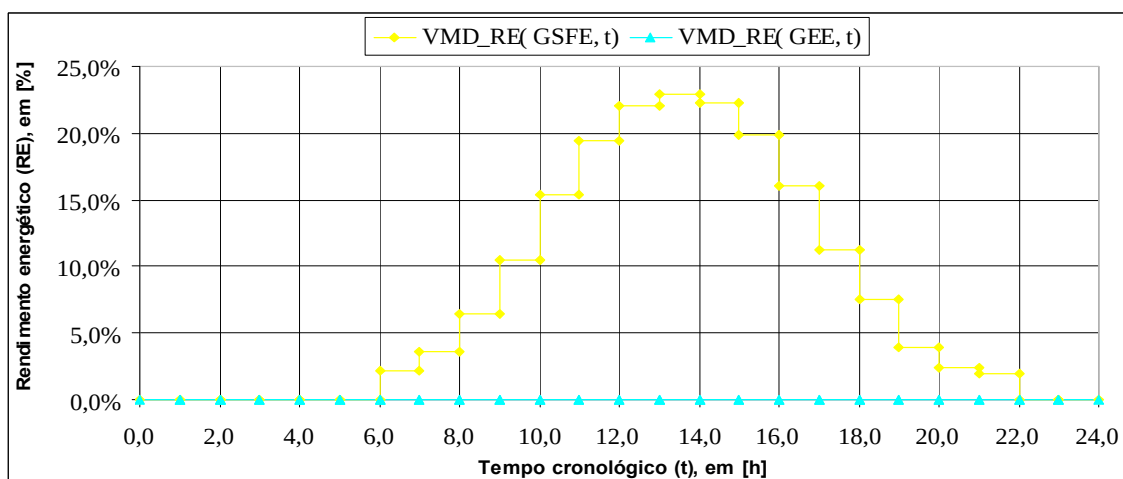


Gráfico 7.3: Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE), em função do tempo cronológico, para os dias de 2 a 4 e para a 2ª configuração do SEH

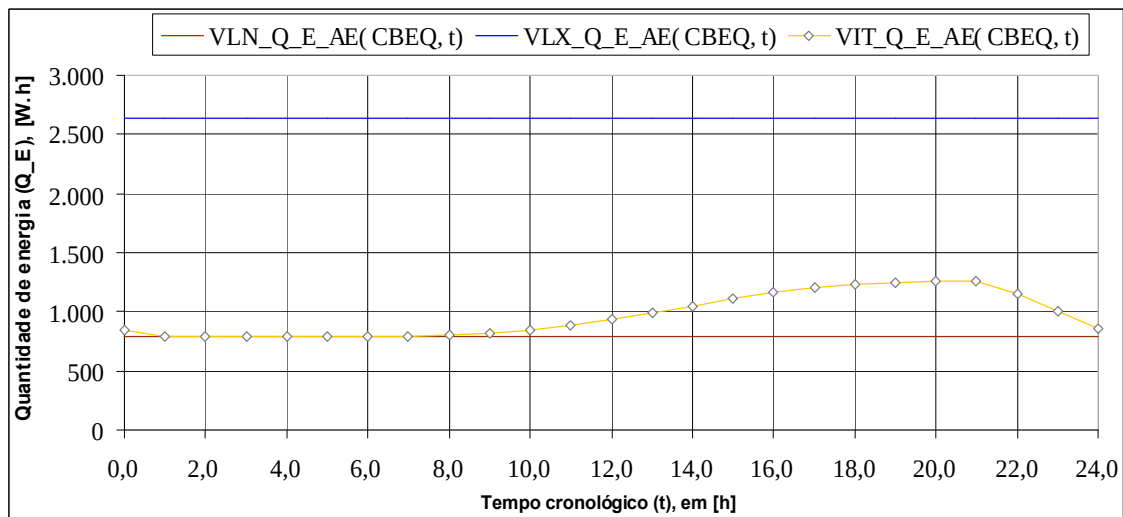


Gráfico 7.4: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH

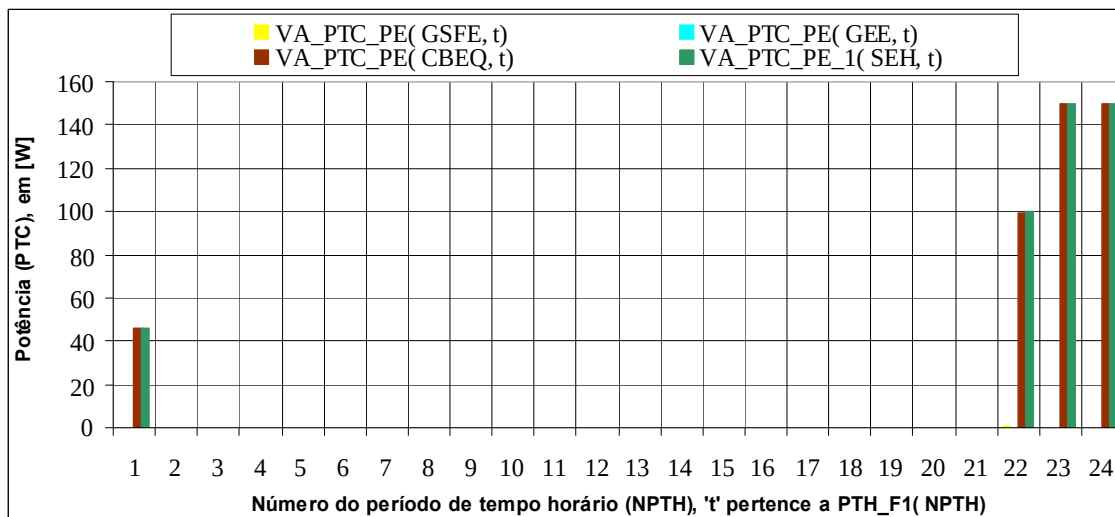


Gráfico 7.5: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH

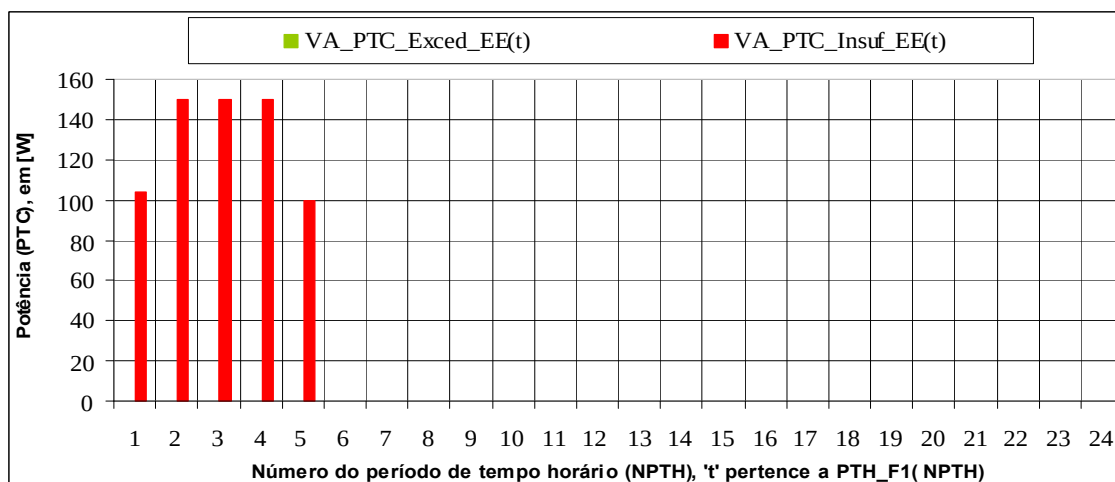


Gráfico 7.6: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH

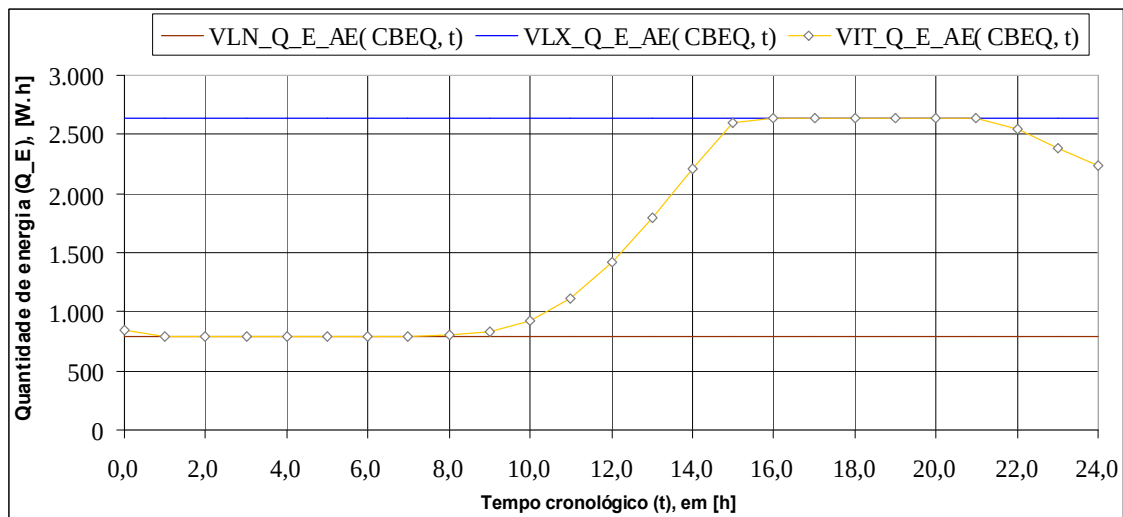


Gráfico 7.7: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH

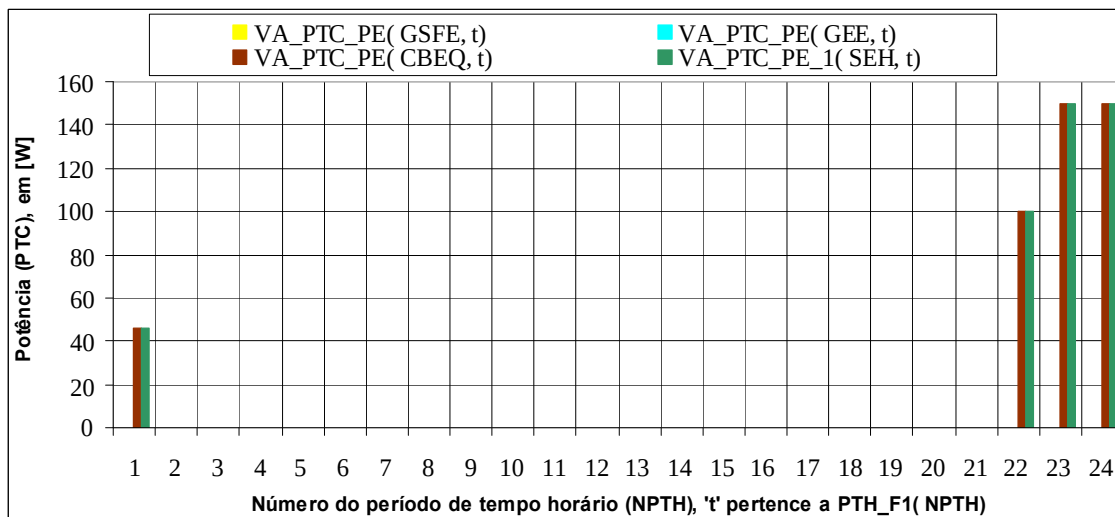


Gráfico 7.8: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH

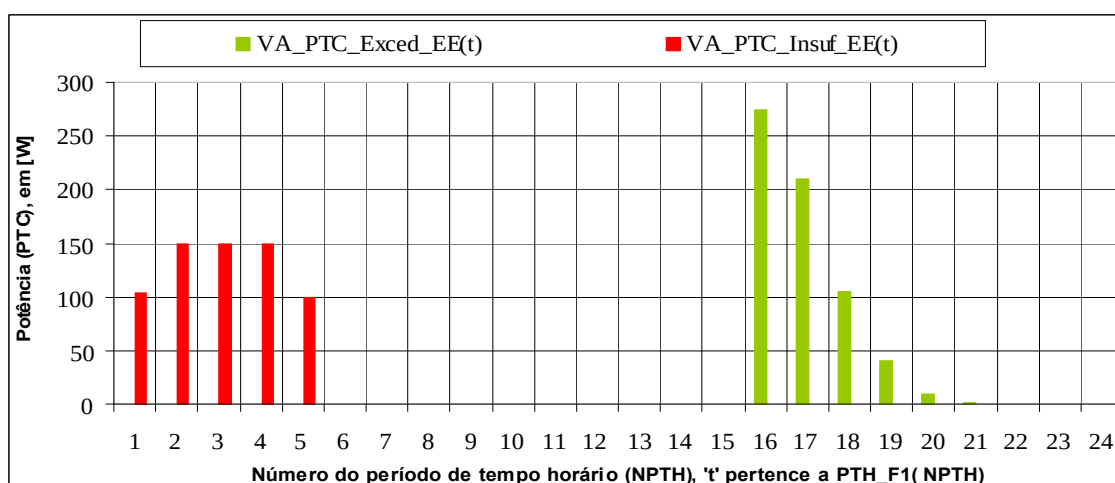


Gráfico 7.9: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH

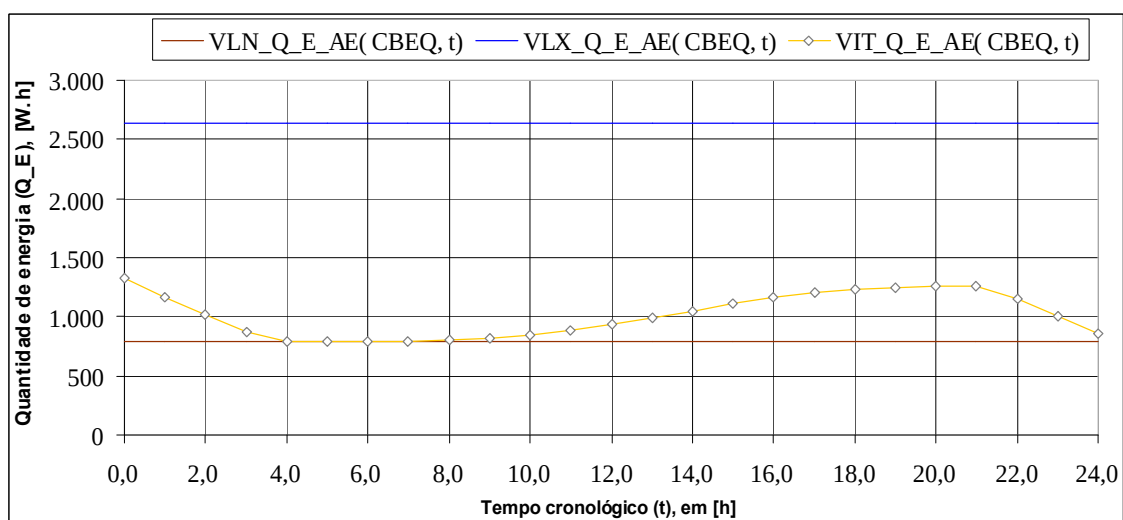


Gráfico 7.10: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH

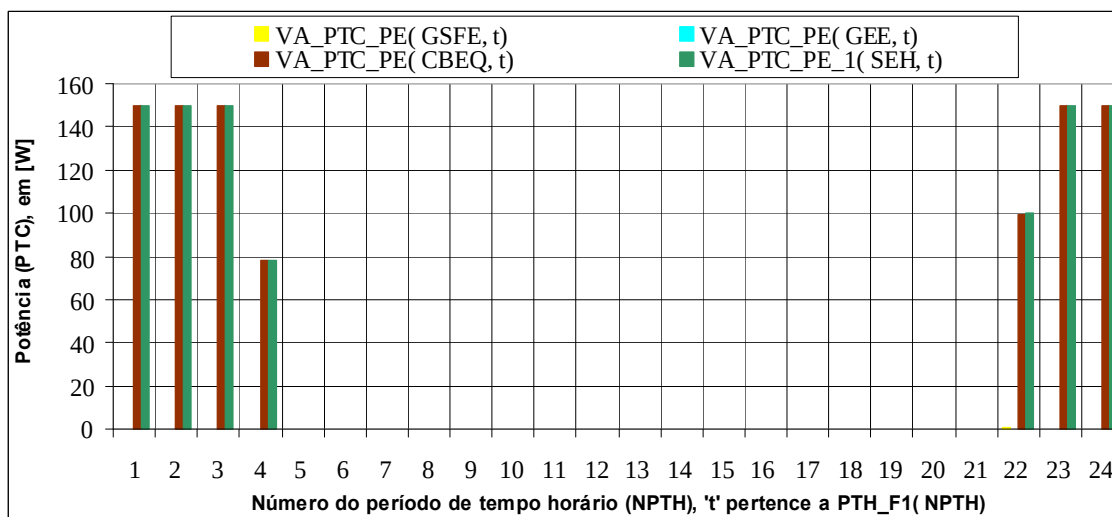


Gráfico 7.11: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH

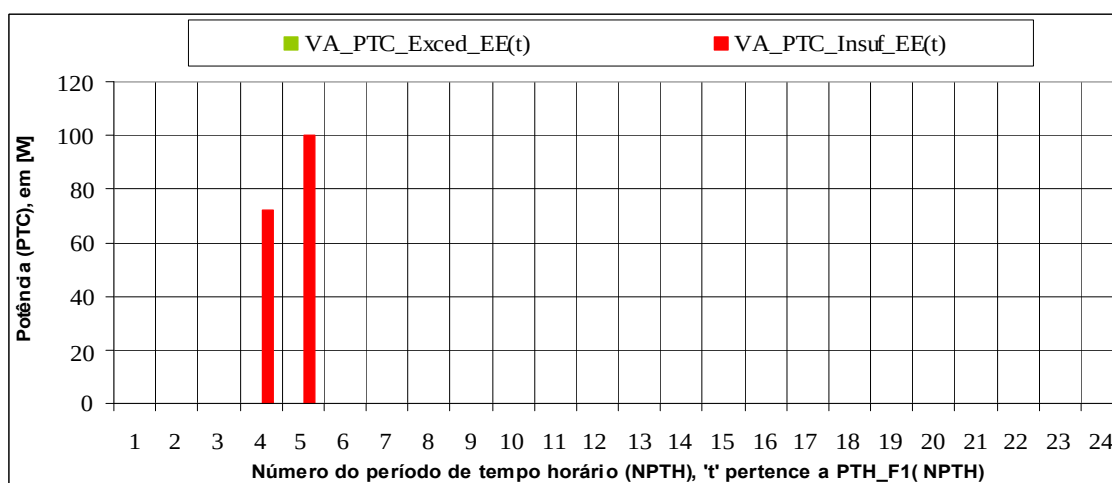


Gráfico 7.12: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH

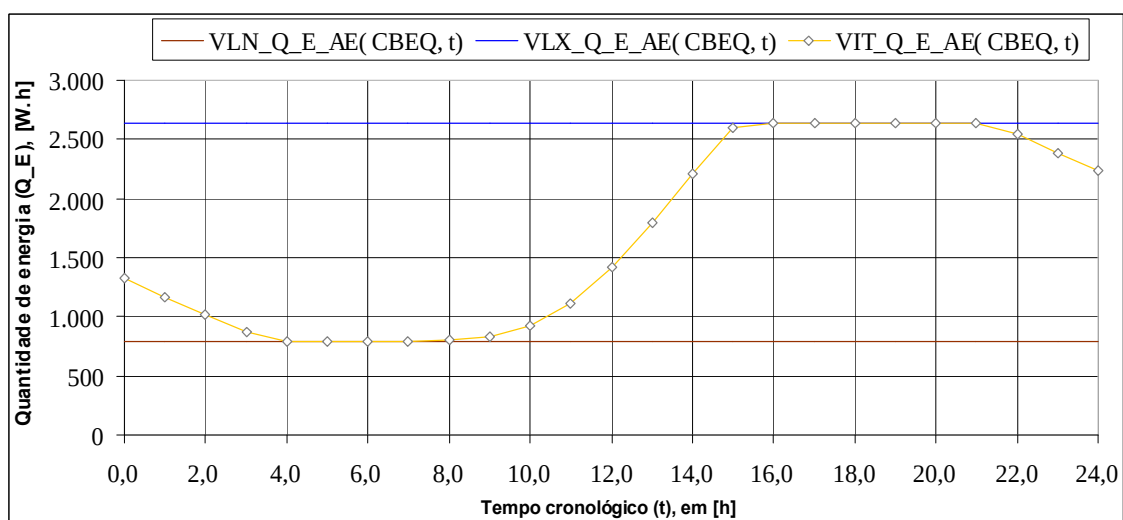


Gráfico 7.13: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 2ª configuração do SEH

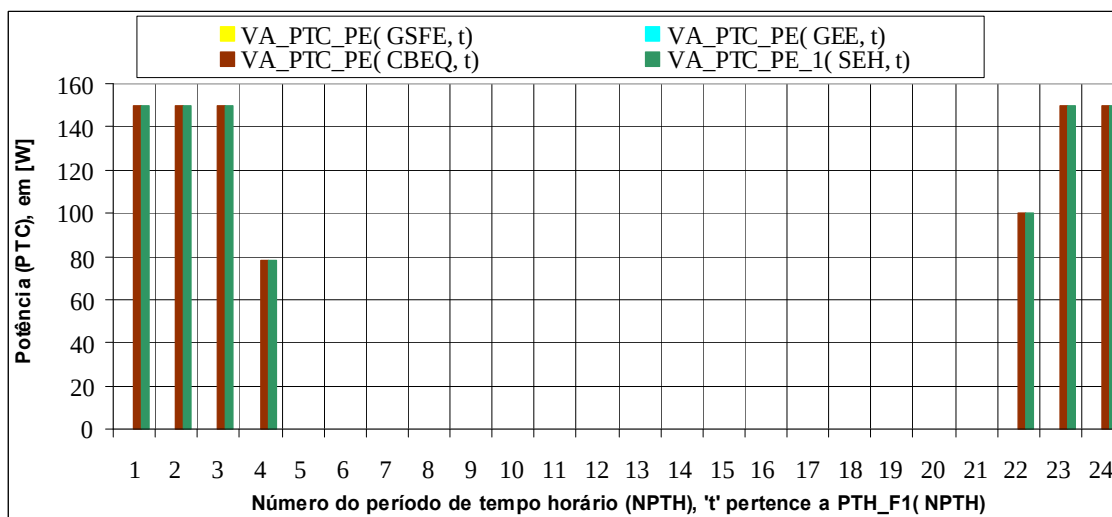


Gráfico 7.14: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 2ª configuração do SEH

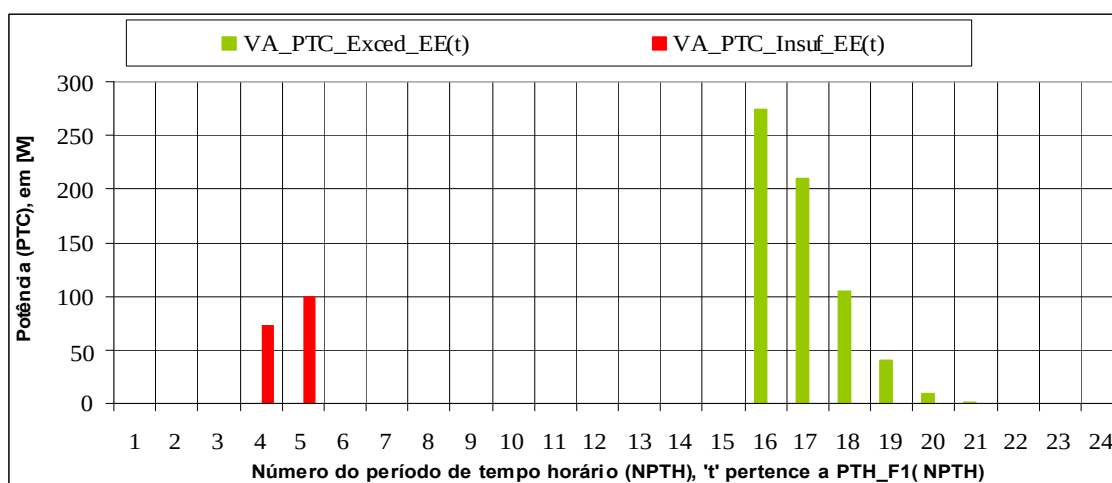


Gráfico 7.15: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 2ª configuração do SEH

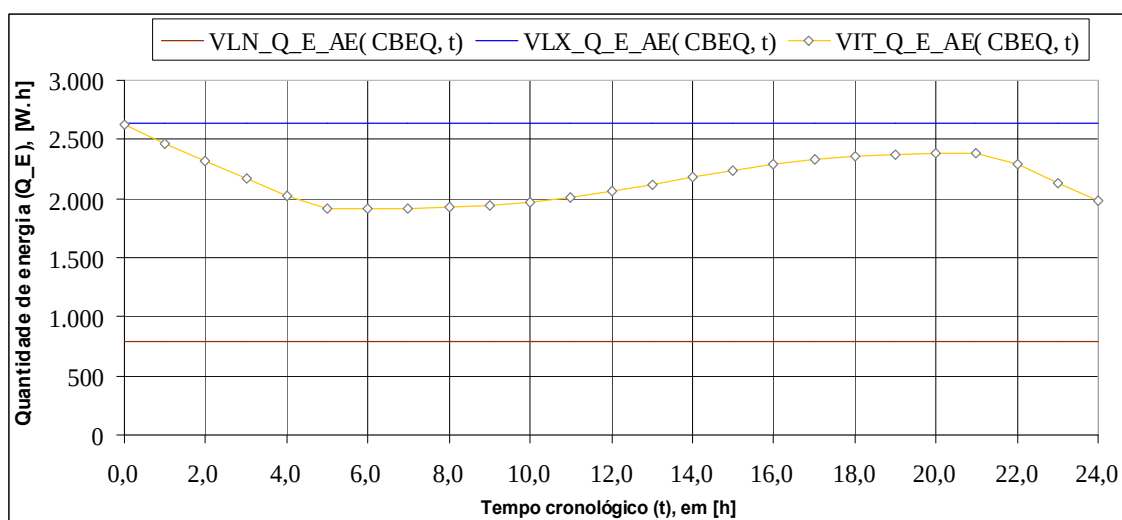


Gráfico 7.16: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH

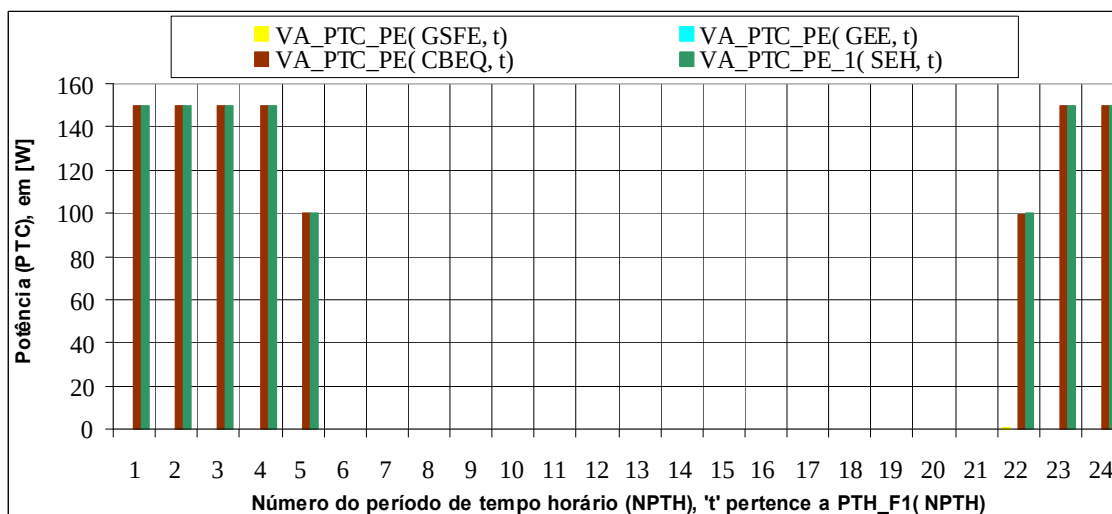


Gráfico 7.17: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH

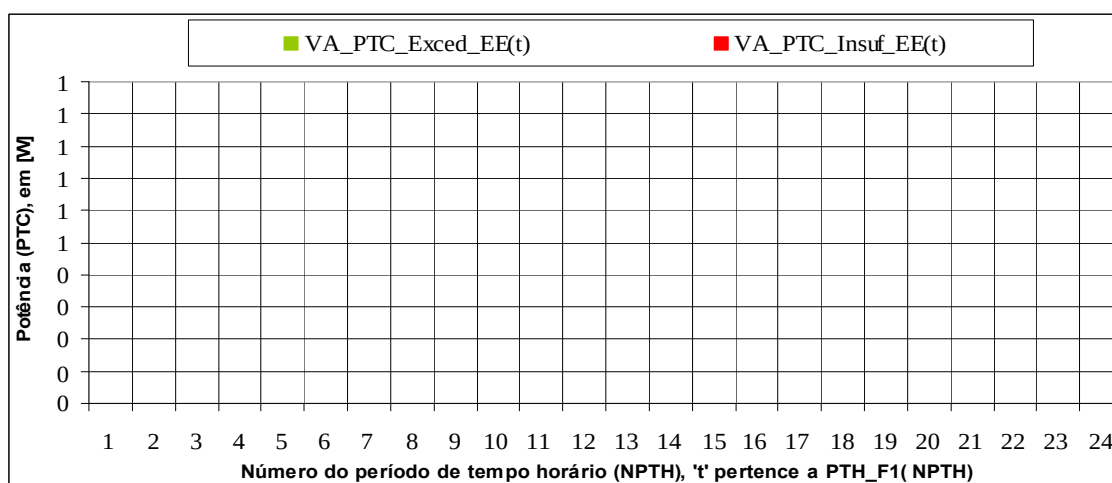


Gráfico 7.18: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH

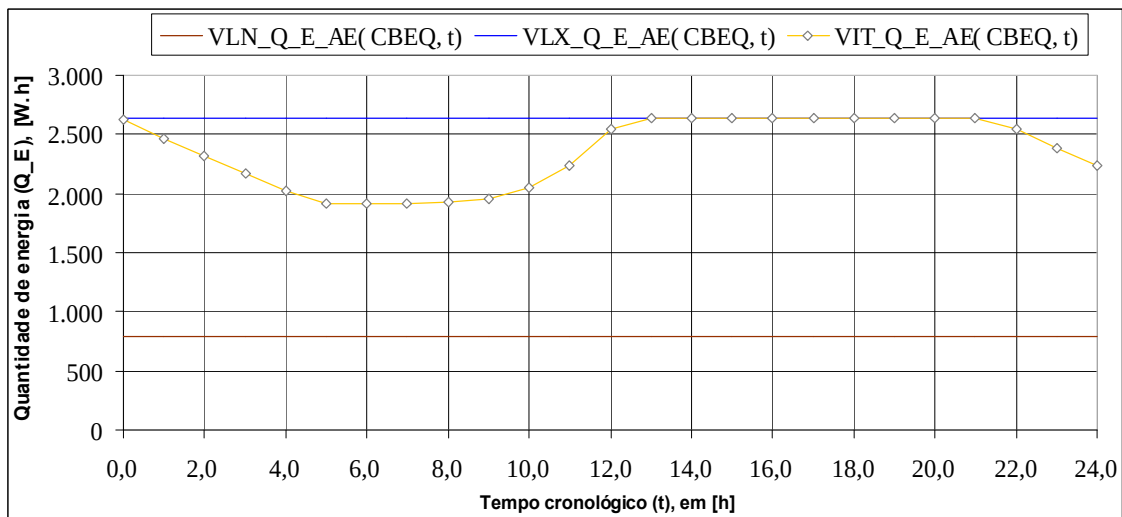


Gráfico 7.19: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 2ª configuração do SEH

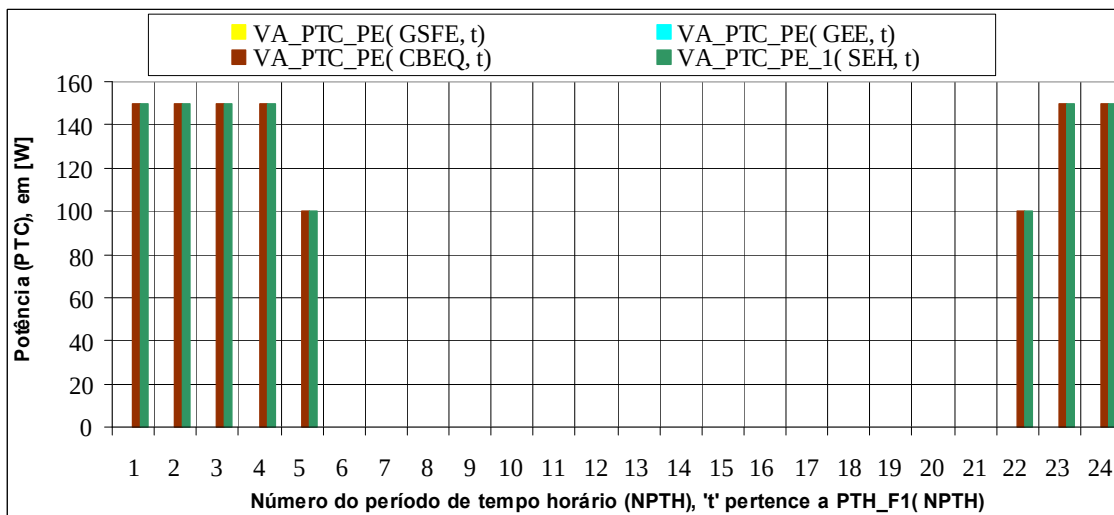


Gráfico 7.20: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 2ª configuração do SEH

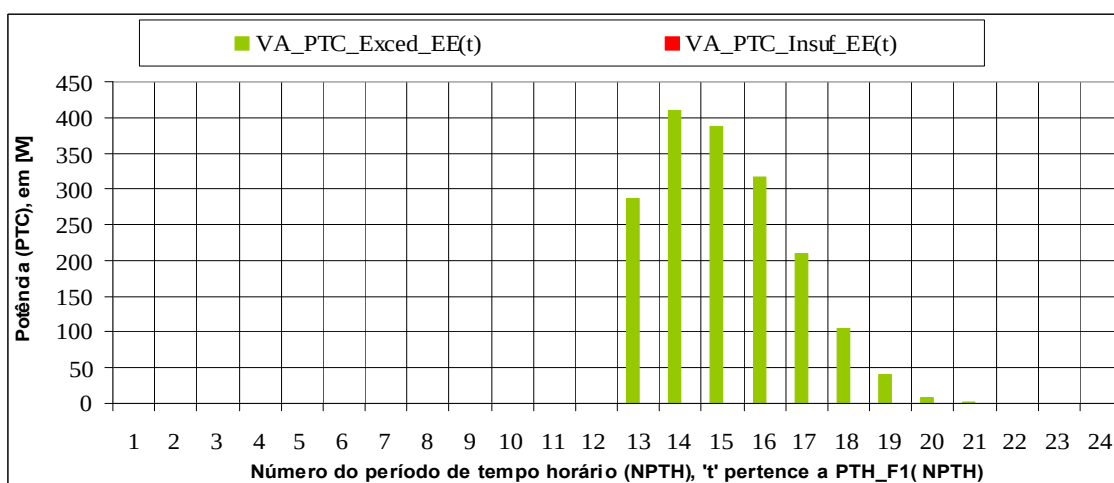


Gráfico 7.21: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 2ª configuração do SEH

Para os dias de 2 a 4, o rendimento energético do gerador 'eolo-eléctrico' (GEE) é nulo em todos os períodos de tempo horários elementares, podendo verificar-se nos gráficos 7.2 e 7.3, porque a disponibilidade do recurso energético eólico é reduzida e não é aproveitável pelo GEE.

Para aqueles dias, o rendimento energético do gerador 'solar-foto-eléctrico' (GSFE) na 1ª configuração do sistema energético híbrido (SEH) varia entre 3,0 [%] e 3,5 [%] no intervalo de tempo entre as 6,0 [h] e as 22,0 [h] (gráfico 7.2). Na 2ª configuração do SEH, o rendimento energético do GSFE varia entre 2,0 [%] e 23,0 [%] no mesmo intervalo de tempo de cada dia (gráfico 7.3). O uso de um seguidor do ponto de potência máxima para o GSFE aumenta significativamente o rendimento energético do aproveitamento de energia solar.

No dia 2, ocorre insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do sistema energético híbrido, para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo, nos períodos de tempo horários elementares de 1 a 5 e nas duas configurações do SEH, conforme se pode ver nos gráficos 7.6 e 7.9. Na 1ª configuração do SEH, não existe excedência de produção eléctrica, mas na 2ª configuração do SEH, existe excedência de produção eléctrica nos períodos de tempo horários elementares de 16 a 20.

O armazenamento energético do conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ), para a 1ª configuração do SEH (gráfico 7.4), está no limite mínimo durante o período de tempo entre a 1,0 [h] e as 7,0 [h] correspondente aos períodos de tempo horários elementares de 2 a 7, e o armazenamento energético aumenta até às 21,0 [h] e depois diminui até às 24,0 [h] atingindo um valor próximo do limite mínimo. Se as condições do dia 2 se mantiverem para os dias seguintes, excepto o armazenamento energético inicial do CBEQ que é igual ao do instante final do dia anterior, então haverá sempre insuficiência de produção eléctrica para satisfazer o consumo eléctrico externo no período inicial de cada dia.

Para a 2ª configuração do SEH (gráfico 7.7), o armazenamento energético do CBEQ está no limite mínimo durante o período de tempo [1,0; 7,0] [h], depois aumenta até às 16,0 [h] e mantém-se no limite máximo durante o período de tempo [16,0; 21,0] [h], e em seguida diminui até atingir o valor de 2.240 [W.h] no instante final do dia. Caso se mantenha as condições do dia 2 para os dias seguintes, excepto o armazenamento energético inicial do CBEQ que é igual ao do instante final do dia anterior, então nunca existirá insuficiência de produção eléctrica para satisfazer o consumo eléctrico externo, mas haverá sempre excedência de produção de energia eléctrica que não pode ser convertida em energia 'electrolítica', porque a capacidade de armazenamento energético do CBEQ é insuficiente para armazenar mais energia.

Em ambas as configurações do SEH, o consumo eléctrico externo é satisfeito directamente a partir da produção eléctrica do CBEQ em todos os períodos de tempo horários elementares para os dias 2, 3 e 4, podendo-se comprovar nos gráficos 7.5, 7.8, 7.11, 7.14, 7.17, e 7.20.

No dia 3, há insuficiência de produção de energia eléctrica do SEH em relação ao consumo eléctrico externo, nos períodos de tempo horários elementares 4 e 5, para ambas as configurações do SEH, tal como se pode conferir nos gráficos 7.12 e 7.15. A excedência de produção eléctrica é igual à do dia 2 para as duas configurações do SEH.

Para a 1ª configuração do SEH (gráfico 7.10), o armazenamento energético do CBEQ está no limite mínimo durante o intervalo de tempo [4,0; 7,0] [h], e a seguir tem uma evolução temporal igual à do dia 2. No caso de se manter as condições do dia 3 para os dias posteriores, os resultados serão iguais aos do dia 2.

Para a 2ª configuração do SEH (gráfico 7.13), o armazenamento energético do CBEQ está no limite mínimo durante o período de tempo entre as 4,0 [h] e as 7,0 [h], e depois tem uma evolução ao longo do tempo cronológico que é igual à do dia 2. Mantendo as condições do dia 3 para os dias posteriores, os resultados serão iguais aos do dia 2.

No dia 4, não existe insuficiência nem excedência de produção de energia eléctrica do SEH relativamente ao consumo eléctrico externo para 1ª configuração do SEH, tal como se pode ver nos gráficos 7.18 e 7.21. Mas há excedência de produção eléctrica, para a 2ª configuração do SEH, no intervalo de tempo [12,0; 20,0] [h] que corresponde aos períodos de tempo horários elementares de 13 a 20.

O armazenamento energético do CBEQ, para a 1ª configuração do SEH (gráfico 7.16), tem o valor de 1.985 [W.h] no instante final do dia, e se as condições do dia 4 se mantiverem para os dias subsequentes em que o armazenamento energético inicial do CBEQ é igual ao do instante final do dia anterior, então o CBEQ terá um armazenamento energético por mais 1 ou 2 dias até atingir o limite mínimo.

Para a 2ª configuração do SEH (gráfico 7.19), o armazenamento energético do CBEQ está sempre acima do limite mínimo e tem um valor no instante final do dia que é igual ao dos dias 2 e 3, por conseguinte os resultados serão iguais aos do dia 2, caso se mantenha as condições do dia 4 para os dias seguintes excepto o armazenamento energético inicial do CBEQ.

7.2 - Adaptação do programa de simulação sobre gestão e controlo ao SEH da primeira expansão

Para adaptar o programa ao sistema energético híbrido (SEH) da primeira expansão, foi necessário alterar a estrutura de componentes do sistema energético global relativamente à versão 1.5 do programa, na qual se substituiu o sistema armazenador de energia 'electrolítica' pelo sistema armazenador de energia hídrica no SEH, ou se acrescentou o sistema armazenador de energia hídrica ao SEH com componentes existentes no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

7.2.1 - Apresentação do programa da versão 2.0 e da versão 2.5

Na versão 2.0 do programa de simulação sobre gestão e controlo de um sistema energético híbrido (SGC_SEH), cuja janela inicial 1 é mostrada na figura 7.4, foi feita a substituição do sistema armazenador de energia 'electrolítica' pelo sistema armazenador de energia hídrica no SEH, havendo assim uma só forma-de-energia para armazenamento energético que é a energia hídrica.

Esta versão do programa permite introduzir dados para alguns componentes do sistema energético global, e ver a estrutura de componentes do sistema energético global e as respectivas características.

No sistema energético global, há mais um recurso energético que é a energia hídrica, a qual consiste na energia gravítica da água que vem da chuva e que é armazenada numa posição superior à do gerador hidro-eléctrico, podendo-se conferir na janela inicial 2 que é mostrada na figura 7.5.



Figura 7.4: Janela inicial 1, do programa da versão 2.0

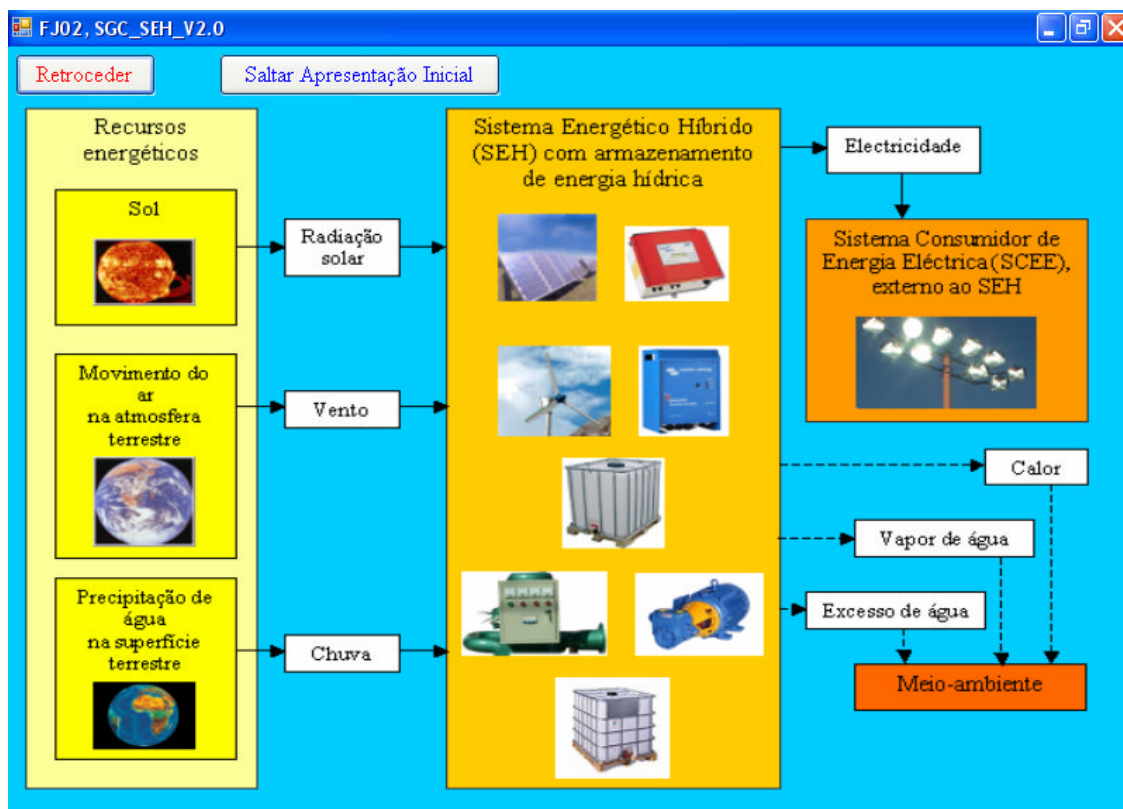


Figura 7.5: Janela inicial 2, do programa da versão 2.0

A saída útil de energia do sistema energético híbrido (SEH) é em electricidade para o sistema consumidor eléctrico externo, e existe três saídas inúteis de energia do SEH para o meio-ambiente, as quais representam as perdas energéticas e são em calor, em vapor de água e em excesso de água, tal como se pode ver na figura 7.5.

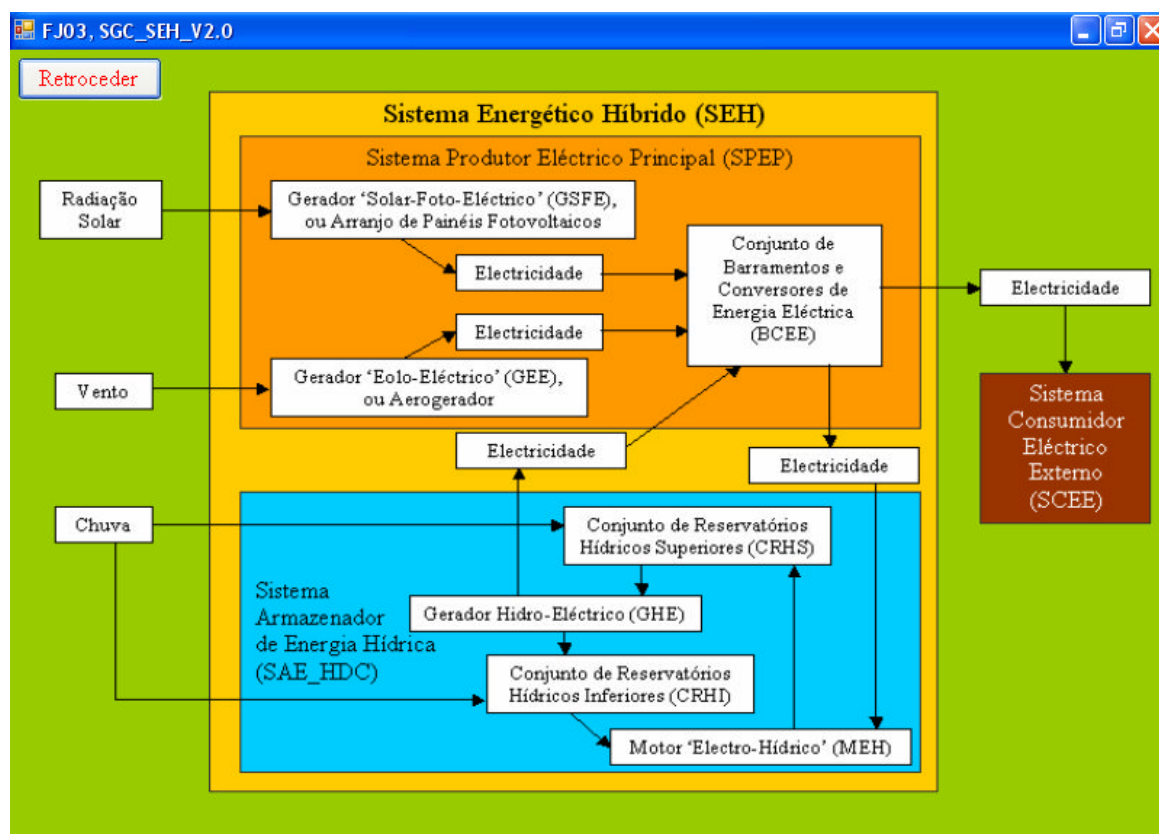


Figura 7.6: Janela inicial 3, do programa da versão 2.0

Os principais objectos físicos de energia, que existem no sistema energético global e que podem ser observados na figura 7.6, são:

- à entrada do SEH: a radiação solar, o vento, e a chuva;
- no interior do SEH: a electricidade, e a água em posição aproveitável graviticamente;
- à saída do SEH: a electricidade.

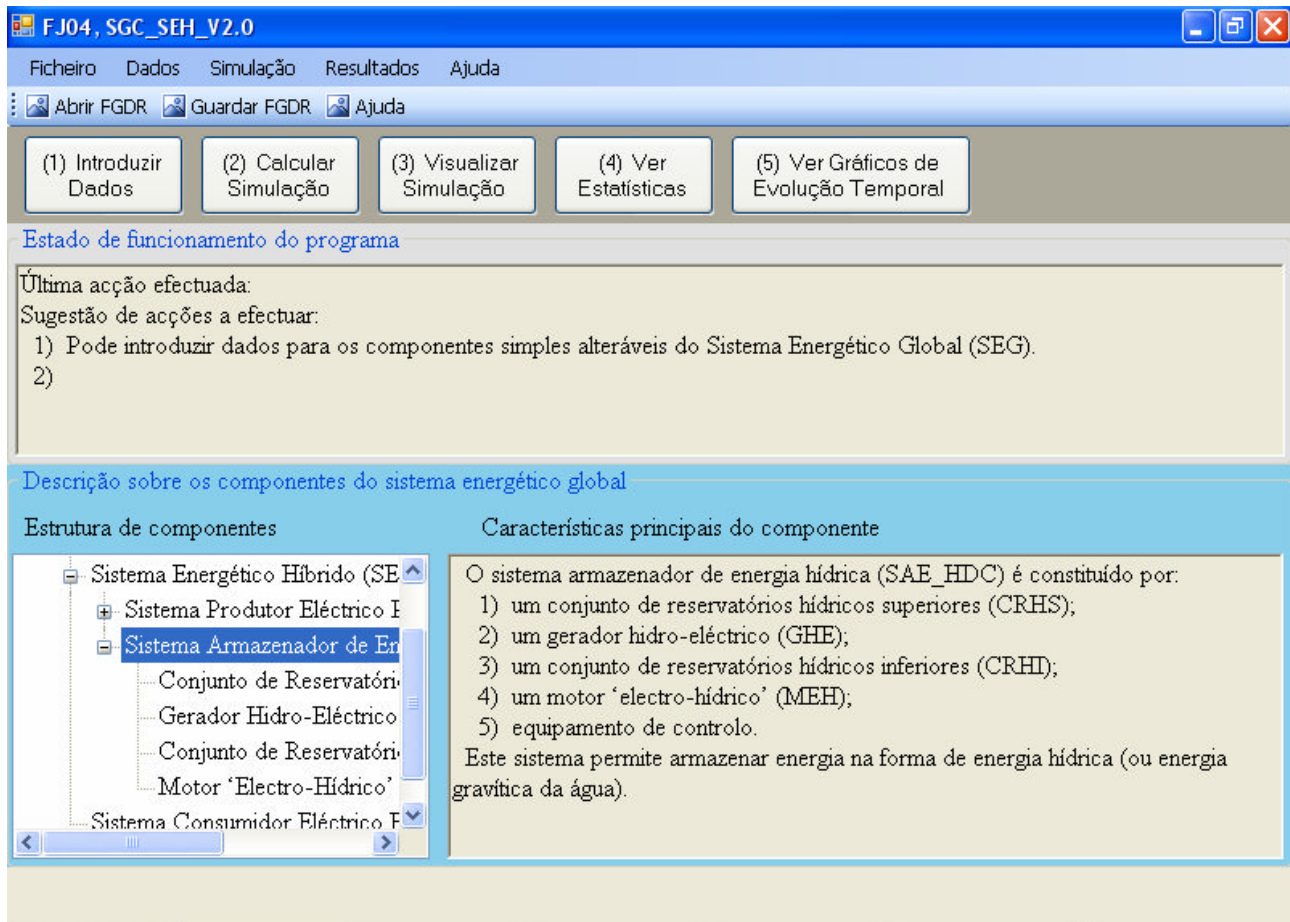


Figura 7.7: Janela principal, do programa da versão 2.0

A estrutura de componentes na versão 2.0 do programa tem os seguintes componentes simples do sistema energético global (SEG):

- energia solar (E_SLR);
- energia eólica (E_EÓL);
- energia hídrica (E_HDC);
- gerador 'solar-foto-eléctrico' (GSFE);
- gerador 'eolo-eléctrico' (GEE);
- conjunto de barramentos e conversores de energia eléctrica (BCEE);
- conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS);
- gerador hidro-eléctrico (GHE);
- conjunto de reservatórios hídricos inferiores (CRHI);
- motor 'electro-hídrico' (MEH);
- sistema consumidor eléctrico externo (SCEE).

O conjunto de barramentos e conversores de energia eléctrica (BCEE) é um componente simples inalterável, mas os restantes componentes simples são alteráveis.

A janela de selecção de um componente do sistema energético global (SEG), que é apresentada na figura 7.8, é acedida clicando no botão-de-comando « (1) Introduzir Dados », e após a selecção de um componente simples alterável, é possível introduzir dados para esse componente na respectiva janela.

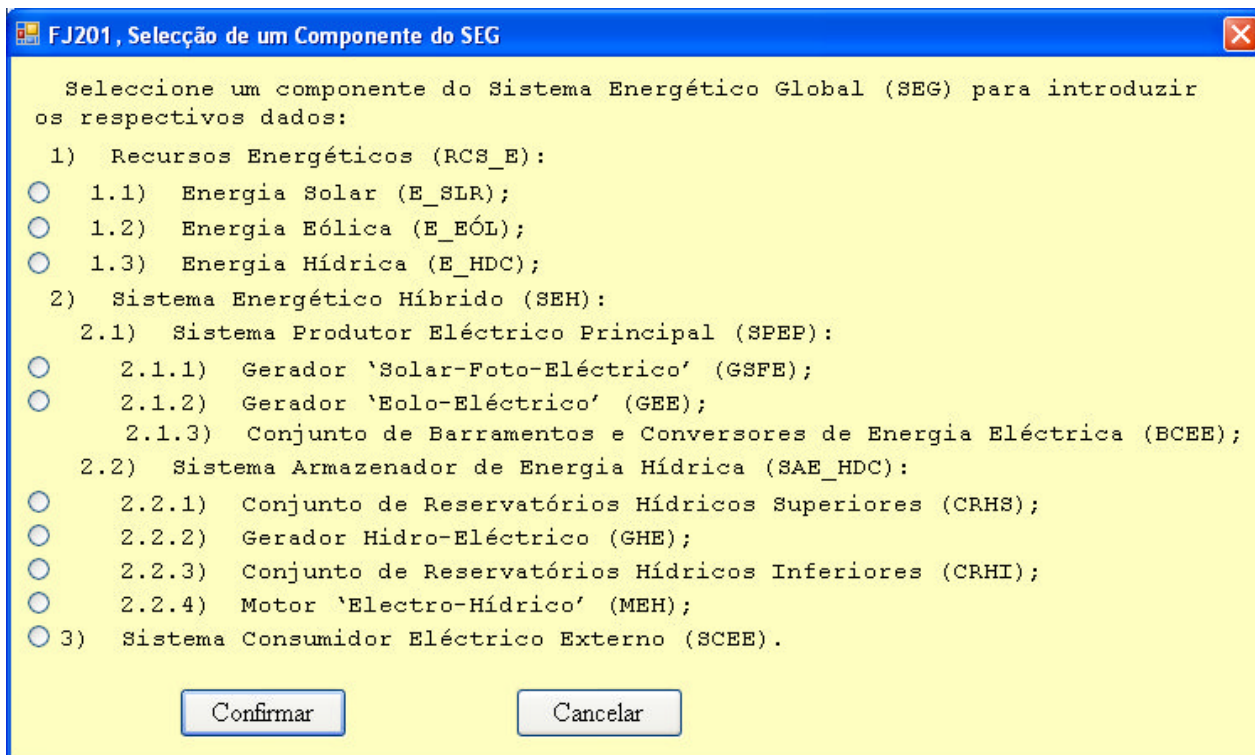


Figura 7.8: Janela de selecção de um componente do SEG

A janela de introdução de dados para o recurso de energia hídrica (E_HDC), que é apresentada na figura 7.9, permitirá introduzir os respectivos dados.

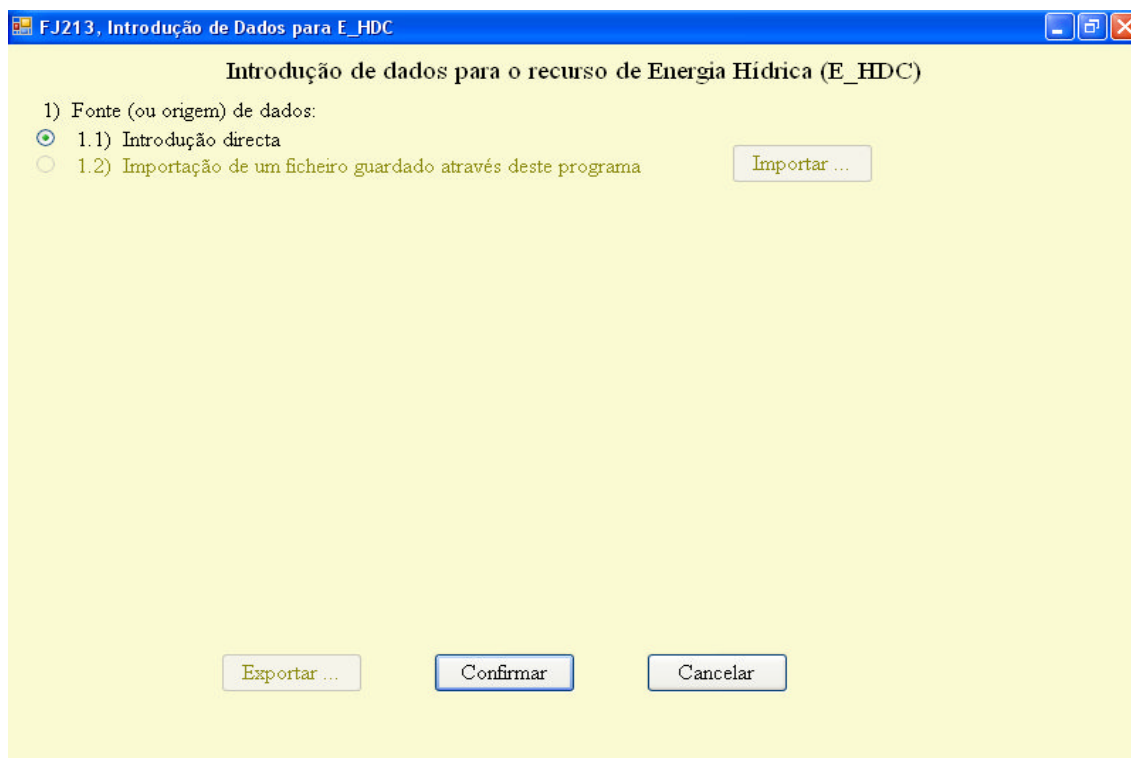


Figura 7.9: Janela de introdução de dados para o recurso de E_HDC

A janela de introdução de dados para os componentes do sistema armazenador de energia hídrica (SAE_HDC), que é apresentada na figura 7.10, permitirá introduzir os respectivos dados para os quatro componentes principais.

FJ232, Introdução de Dados para SAE_HDC

Introdução de dados para os componentes do Sistema Armazenador de Energia Hídrica (SAE_HDC)

1) Fonte (ou origem) de dados:

☒ 1.1) Introdução directa

☐ 1.2) Importação de um ficheiro guardado através deste programa Importar ...

C1 - CRHS C2 - GHE C3 - CRHI C4 - MEH

Componente 1 - Conjunto de Reservatórios Hídricos Superiores (CRHS)

Exportar ... Confirmar Cancelar

Figura 7.10: Janela de introdução de dados para os componentes do SAE_HDC

A versão 2.5 do programa foi feita a partir da versão 2.0 do programa à qual se acrescentou o sistema armazenador de energia 'electrolítica', para resolver problemas de modelização do gerador hidro-eléctrico e do motor 'electro-hídrico'.

Esta versão do programa permite introduzir dados para alguns componentes do sistema energético global, e ver a estrutura de componentes do sistema energético global e as respectivas características.

O sistema energético híbrido tem dois sistemas armazenadores de energia cujas formas energéticas armazenáveis são a energia hídrica e a energia 'electrolítica', tal como se pode verificar nas figuras 7.11 e 7.12.

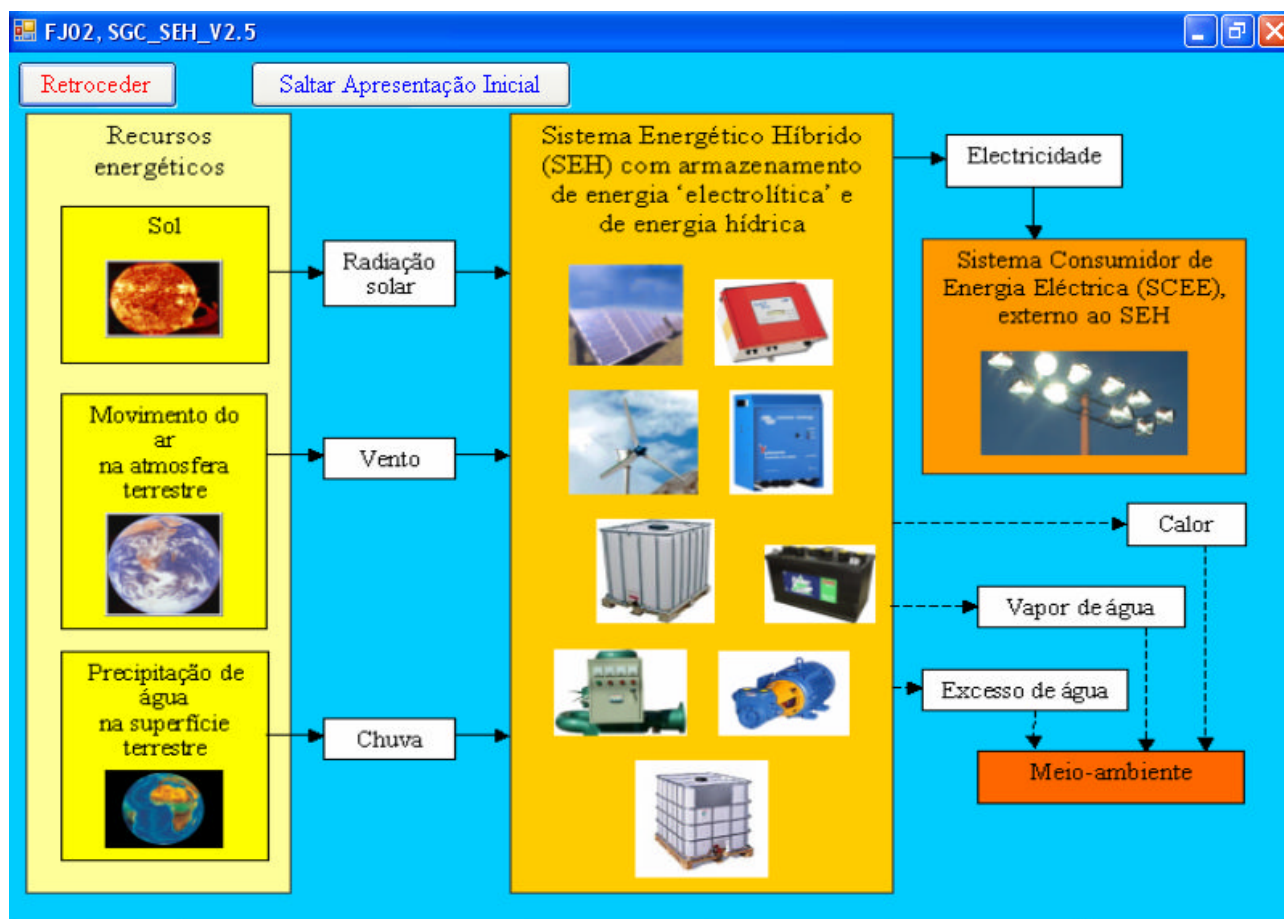


Figura 7.11: Janela inicial 2, do programa da versão 2.5

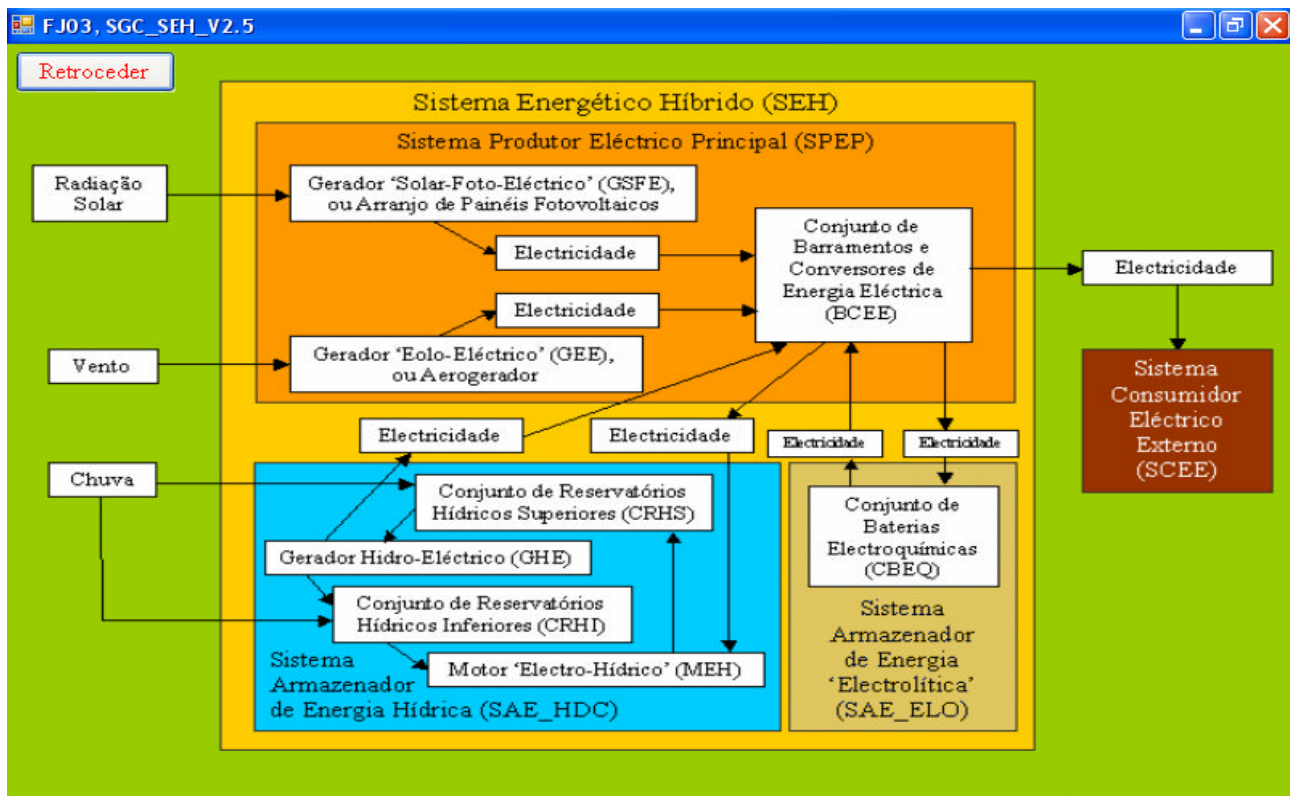


Figura 7.12: Janela inicial 3, do programa da versão 2.5

Os principais objectos físicos de energia, que existem no sistema energético global e que podem ser vistos na figura 7.12, são:

- à entrada do SEH: a radiação solar, o vento, e a chuva;
- no interior do SEH: a electricidade, a água em posição aproveitável graviticamente, e o electrólito carregável electricamente;
- à saída do SEH: a electricidade.

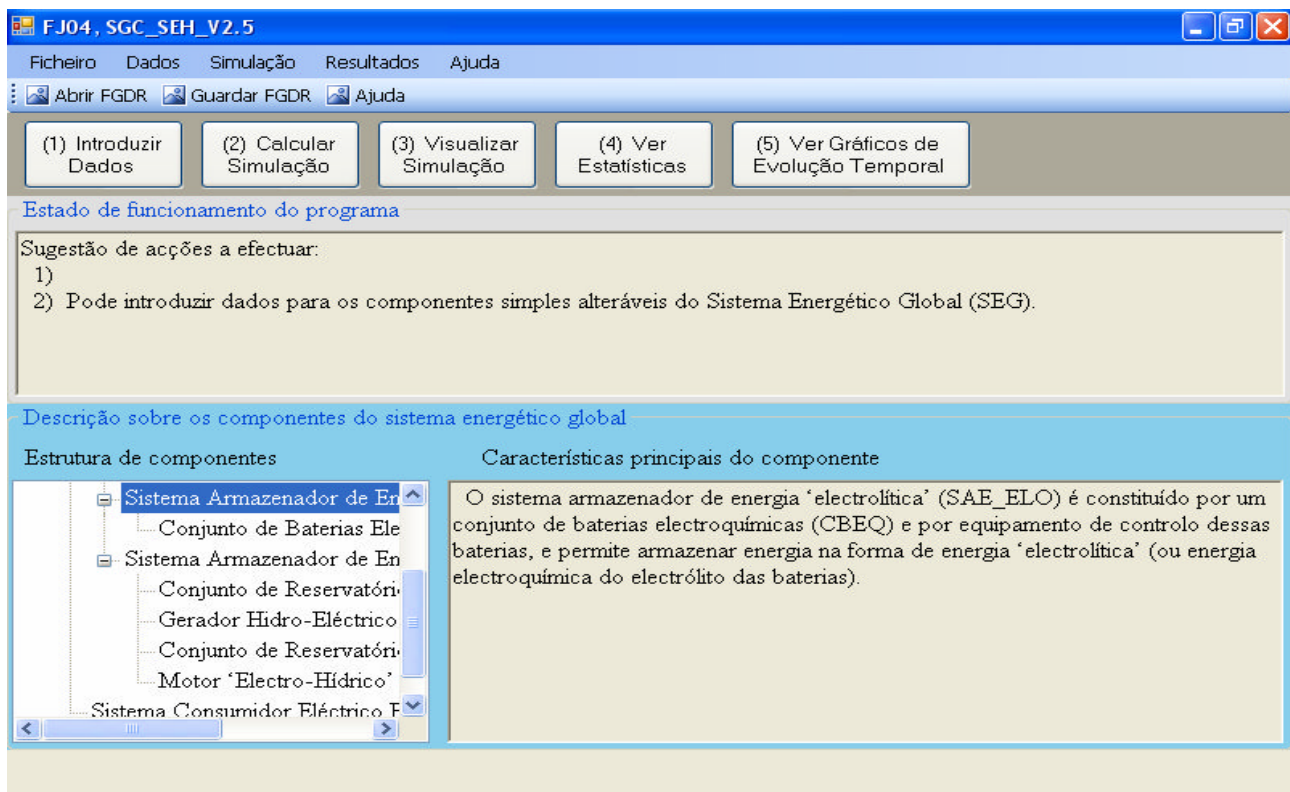


Figura 7.13: Janela principal, do programa da versão 2.5

A estrutura de componentes na versão 2.5 do programa, que pode ser vista na figura 7.13, tem os seguintes componentes simples do sistema energético global (SEG):

- energia solar (E_SLR);
- energia eólica (E_EÓL);
- energia hídrica (E_HDC);
- gerador 'solar-foto-eléctrico' (GSFE);
- gerador 'eolo-eléctrico' (GEE);
- conjunto de barramentos e conversores de energia eléctrica (BCEE);
- conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ);
- conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS);
- gerador hidro-eléctrico (GHE);
- conjunto de reservatórios hídricos inferiores (CRHI);
- motor 'electro-hídrico' (MEH);
- sistema consumidor eléctrico externo (SCEE).

O conjunto de barramentos e conversores de energia eléctrica (BCEE) é um componente simples inalterável, mas os restantes componentes simples são alteráveis.

A janela de selecção de um componente do sistema energético global, que é apresentada na figura 7.14, é acedida clicando no botão-de-comando « (1) Introduzir Dados », e após a selecção de um componente simples alterável, é possível introduzir dados para esse componente na respectiva janela.

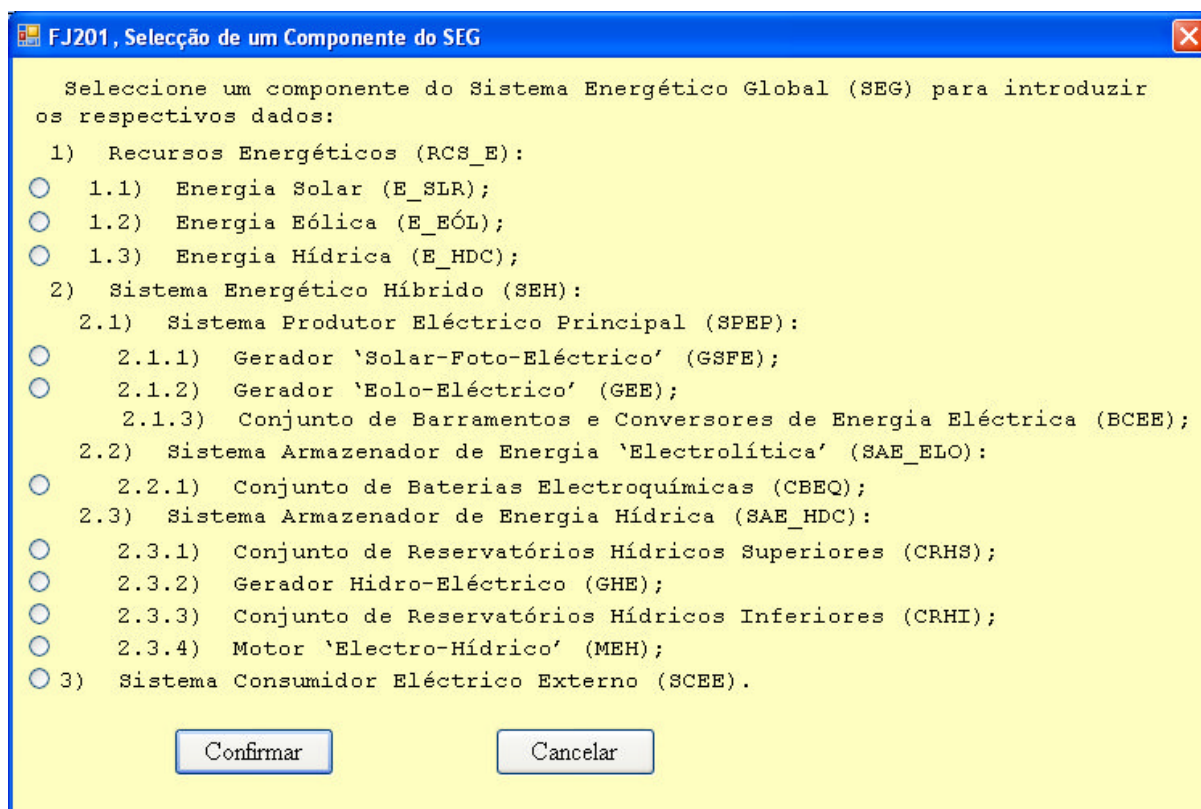


Figura 7.14: Janela de selecção de um componente do SEG

7.2.2 - Análise de diferentes situações para o SEH com armazenamento de energia 'electrolítica' e de energia hídrica

Foram consideradas mais algumas situações do sistema energético híbrido (SEH) com componentes existentes no edifício J da FEUP e com o sistema armazenador de energia hídrica, que se acrescentam às situações apresentadas no capítulo 5, e relativamente às quais se altera a velocidade do vento ou a quantidade de água do armazenamento hídrico no conjunto de reservatórios hídricos superiores e no conjunto de reservatórios hídricos inferiores para o início da simulação. Cada situação corresponde a um dia.

Para o dia 2, alterou-se a velocidade do vento que se apresenta na tabela 7.4, e considerou-se as duas configurações do SEH, sendo que:

- na 1ª configuração: o gerador 'solar-foto-eléctrico' tem uma ligação directa ao conjunto de baterias electroquímicas, e não existe o seguidor do ponto de potência máxima;
- na 2ª configuração: o gerador 'solar-foto-eléctrico' tem uma ligação indirecta ao conjunto de baterias electroquímicas através de um seguidor do ponto de potência máxima cujo rendimento energético é 95 [%].

Para os dias 3 e 4, manteve-se a velocidade do vento igual à do dia 1 (apresentado no capítulo 5), mas fez-se as seguintes alterações:

- no dia 3: o conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS) e o conjunto de reservatórios hídricos inferiores (CRHI) estão cheios de água, o que implica que $Q_A_AH(CRHI, t_0) = 100.000 [l]$, $Q_A_AH(CRHS, t_0) = 100.000 [l]$, e $Q_E_HDC_P_A(t_0) = Q_E_AE(CRHS, t_0) = 3.406 [W.h]$;
- no dia 4: o conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS) e o conjunto de reservatórios hídricos inferiores (CRHI) estão vazios de água, o que implica que $Q_A_AH(CRHI, t_0) = 0 [l]$, $Q_A_AH(CRHS, t_0) = 0 [l]$, e $Q_E_HDC_P_A(t_0) = Q_E_AE(CRHS, t_0) = 0 [W.h]$.

Legenda dos parâmetros:

- NPTH → número do período de tempo horário (PTH) elementar, $t \in PTH(NPTH)$
- $I_RS_G(t)$ → intensidade da radiação solar global, em função do tempo cronológico (t), expressa em "Watt" por metro ao quadrado [W/m^2]
- $T_AR(t)$ → temperatura do ar, em função do tempo cronológico (t), expressa em grau "Celsius" [$^{\circ}C$]
- $VV(t)$ → velocidade do vento, em função do tempo cronológico (t), expressa em metro por segundo [m/s]
- $I_PA_ST(t)$ → intensidade da precipitação de água junto à superfície terrestre, em função do tempo cronológico (t), expressa em litro por metro ao quadrado e por hora [$l/m^2/h$]
- $I_EA_ST(t)$ → intensidade da evaporação de água junto à superfície terrestre, em função do tempo cronológico (t), expressa em litro por metro ao quadrado e por hora [$l/m^2/h$]
- $CE(SCEE, t)$ → consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo, em função do tempo cronológico (t), expresso em "Watt" [W]
- $CE(SCEE, t) = PTC_CE(SCEE, t) = PTC_ELT_C(SCEE, t)$
- $Q_A_AH(CRHI, t_0)$ → quantidade de água do armazenamento hídrico no conjunto de reservatórios hídricos inferiores (CRHI) para o início da simulação, expressa em litro [l]
- $Q_A_AH(CRHS, t_0)$ → quantidade de água do armazenamento hídrico no conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS) para o início da simulação, expressa em litro [l]
- $Q_E_AE(CRHS, t_0)$ → quantidade de energia do armazenamento energético no conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS) para o início da simulação, expressa em "Watt"-hora [W.h]

$Q_E_HDC_P_A(t_0) \rightarrow$ quantidade de energia hídrica potencial armazenada no conjunto de reservatórios hídricos superiores (CRHS) para o início da simulação, expressa em "Watt"-hora [W.h]

$$Q_E_HDC_P_A(t_0) = Q_E_AE(CRHS, t_0)$$

NPTH	PTH_F1		I_RS_G(t)	T_AR(t)	VV(t)	I_PA_ST(t)	I_EA_ST(t)	CE(SCEE, t)
	[ITI_F1; ITF_F1]							
	ITI_F1	ITF_F1						
	[h]	[h]						
1	0,000	1,000	0,000	14,8	0,000	2,000	0,000	150
2	1,000	2,000	0,000	14,8	0,000	4,000	0,000	150
3	2,000	3,000	0,000	14,8	2,000	3,000	0,000	150
4	3,000	4,000	0,000	14,8	1,000	2,000	0,000	150
5	4,000	5,000	0,000	14,8	2,000	1,000	0,000	100
6	5,000	6,000	0,000	14,8	1,000	0,500	0,000	0
7	6,000	7,000	29,709	15,0	0,000	0,250	0,001	0
8	7,000	8,000	120,095	15,7	1,000	0,000	0,002	0
9	8,000	9,000	266,863	17,4	1,000	0,000	0,005	0
10	9,000	10,000	453,565	20,4	0,000	0,000	0,007	0
11	10,000	11,000	653,326	25,2	0,000	0,000	0,009	0
12	11,000	12,000	832,637	29,5	1,500	0,000	0,010	0
13	12,000	13,000	958,964	32,6	0,500	0,000	0,012	0
14	13,000	14,000	1.008,415	33,8	0,000	0,000	0,015	0
15	14,000	15,000	971,458	32,9	0,500	0,000	0,014	0
16	15,000	16,000	855,226	30,1	1,000	0,000	0,013	0
17	16,000	17,000	681,790	25,9	1,500	0,000	0,013	0
18	17,000	18,000	482,868	21,2	1,000	0,000	0,012	0
19	18,000	19,000	292,327	19,0	2,000	0,000	0,011	0
20	19,000	20,000	138,437	15,9	2,000	0,200	0,008	0
21	20,000	21,000	37,847	15,1	0,800	0,300	0,006	0
22	21,000	22,000	1,043	14,8	0,000	0,500	0,004	100
23	22,000	23,000	0,000	14,8	0,000	0,750	0,002	150
24	23,000	24,000	0,000	14,8	1,200	0,250	0,001	150

Tabela 7.4: Dados para os parâmetros do tempo climático e para o consumo eléctrico do SCEE

No dia 2, o gerador 'eolo-eléctrico' (GEE) não faz aproveitamento energético do vento, porque a velocidade do vento em função do tempo cronológico (VV(t)) é sempre menor do que o limite mínimo de velocidade do vento para o funcionamento do GEE.

Apresenta-se a seguir os gráficos de resultados mais importantes da simulação para o dia 2 desde o gráfico 7.22 até ao gráfico 7.31, para o dia 3 desde o gráfico 7.32 até ao gráfico 7.35, e para o dia 4 desde o gráfico 7.36 até ao gráfico 7.39.

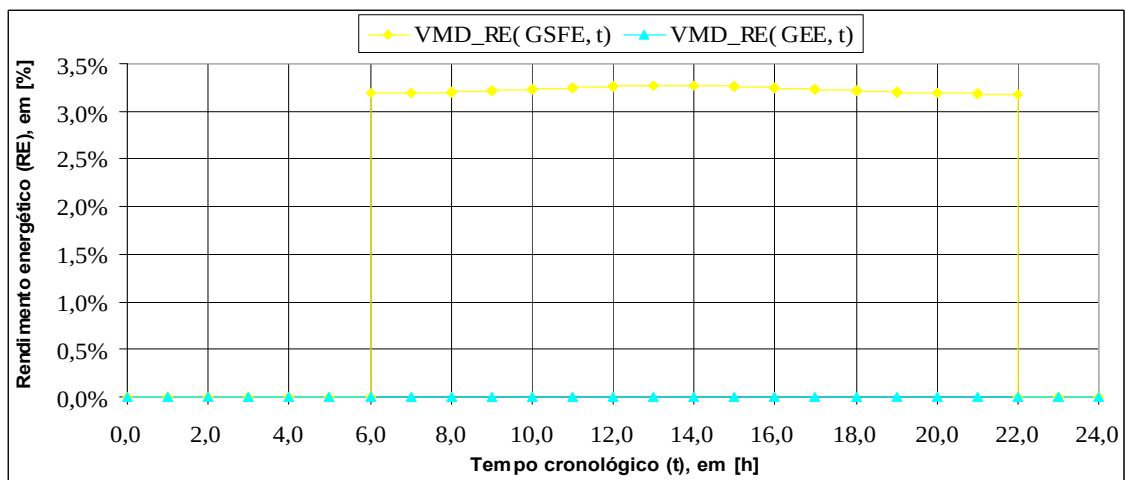


Gráfico 7.22: Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE) do SPEP, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH

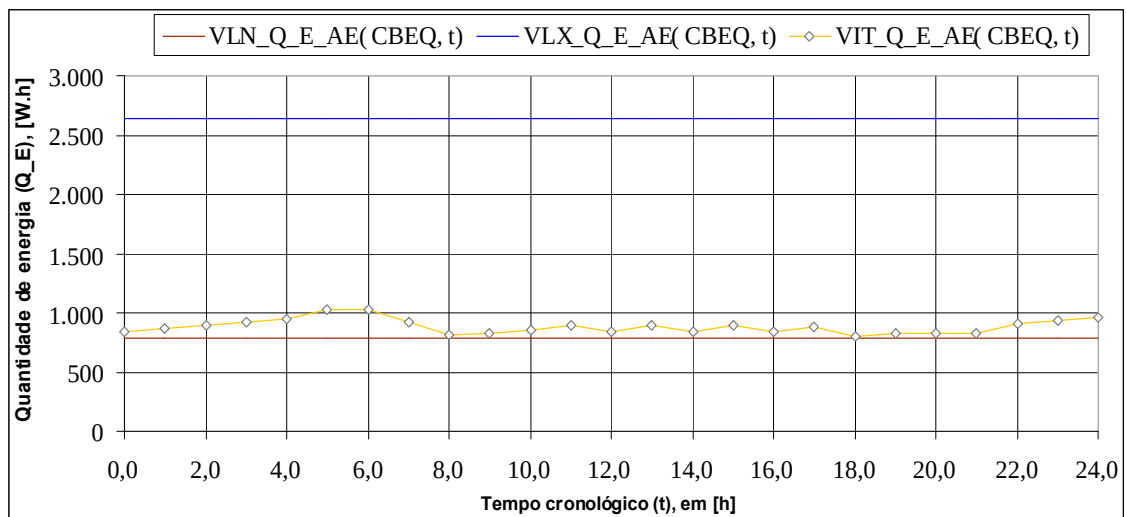


Gráfico 7.23: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH

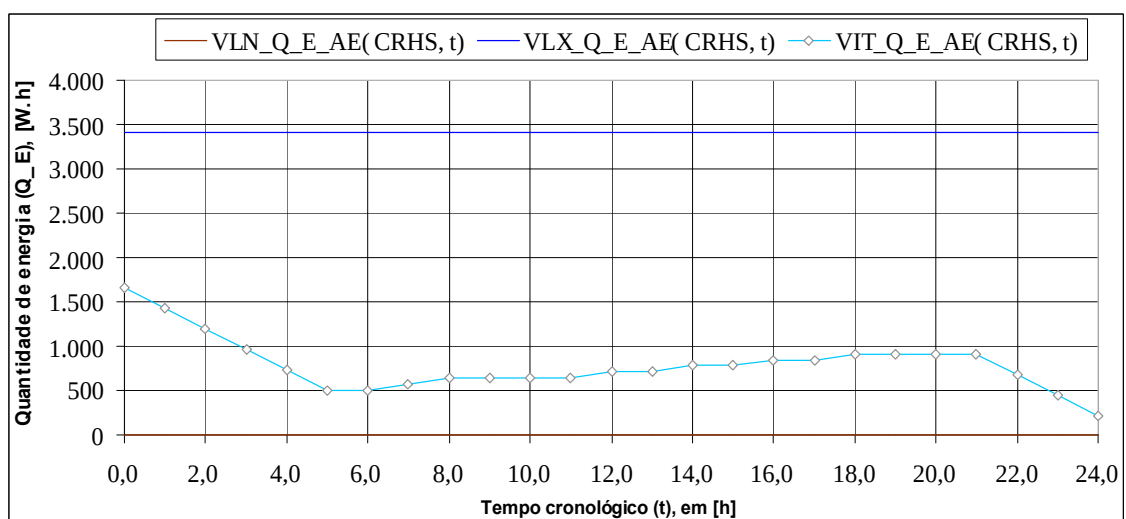


Gráfico 7.24: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH

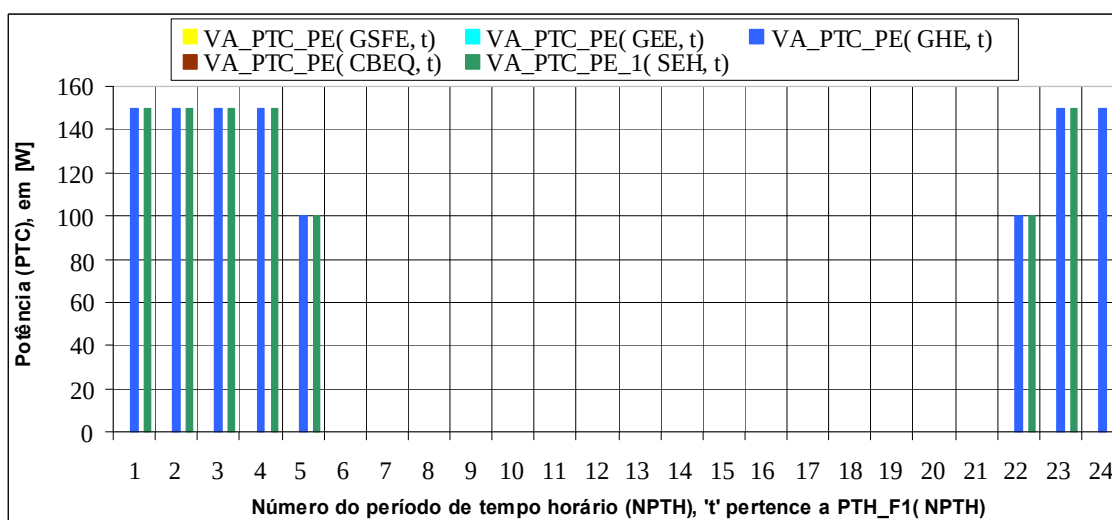


Gráfico 7.25: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do GHE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH

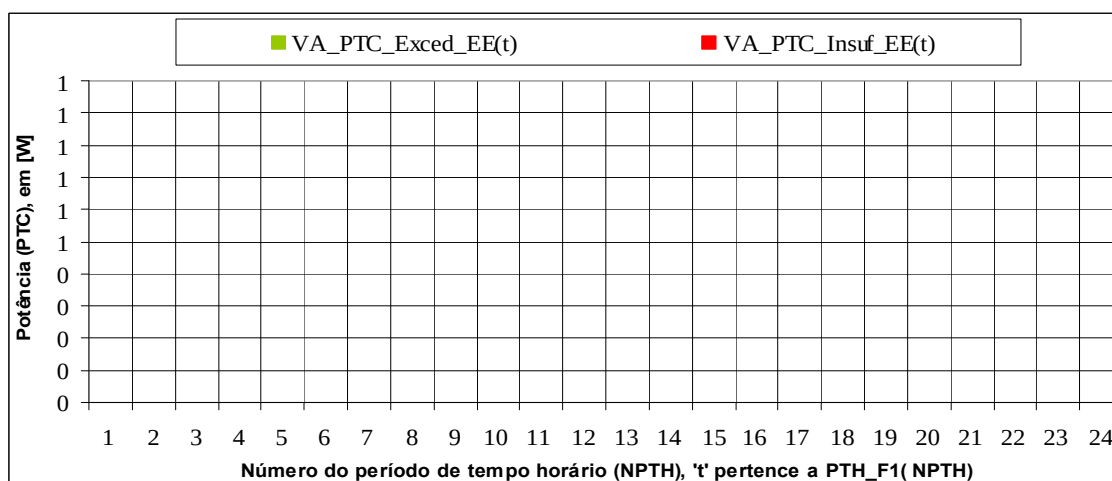


Gráfico 7.26: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 1ª configuração do SEH

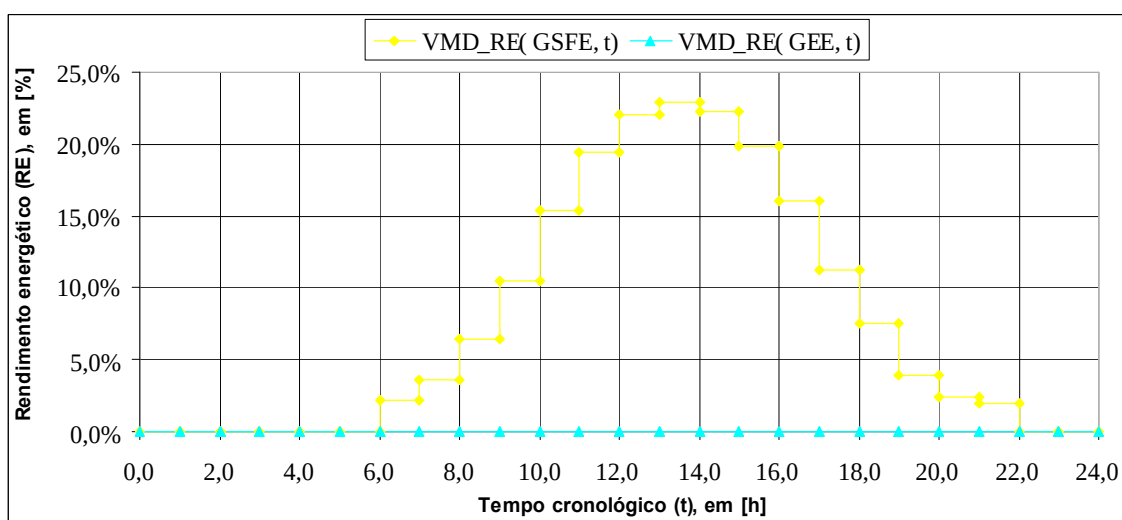


Gráfico 7.27: Valores médios do rendimento energético de cada dispositivo produtor de energia eléctrica (DPEE) do SPEP, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH

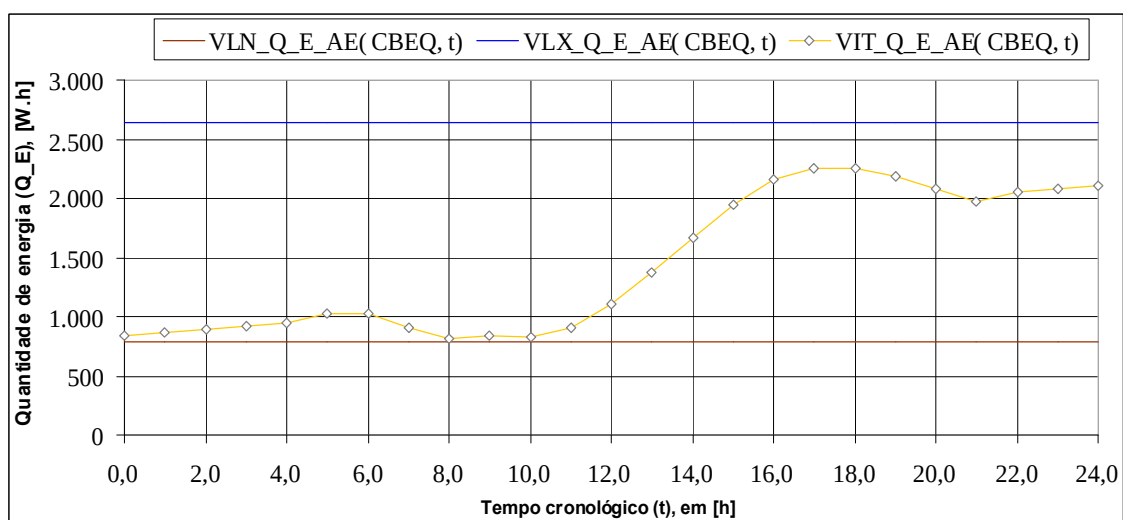


Gráfico 7.28: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH

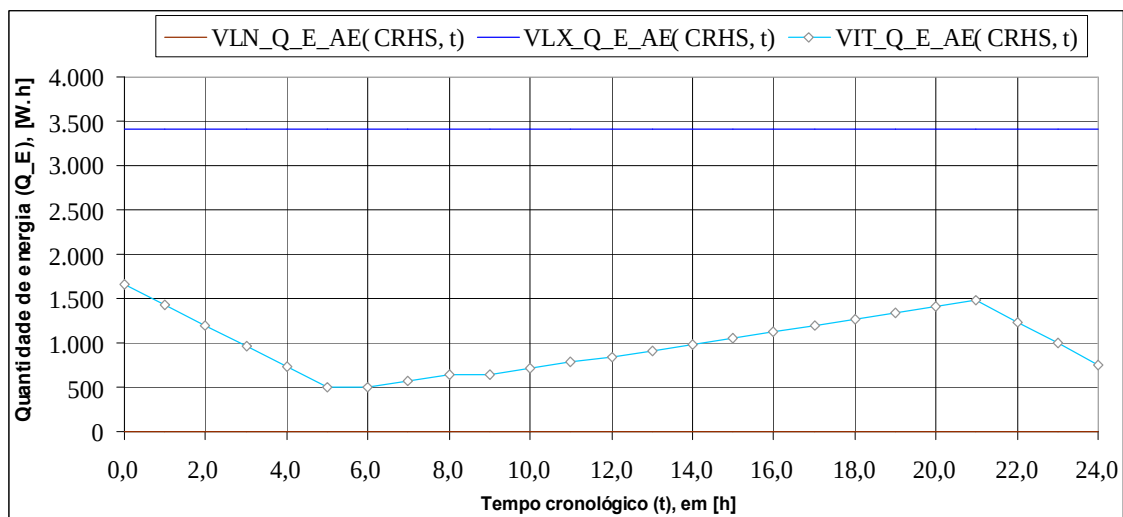


Gráfico 7.29: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH

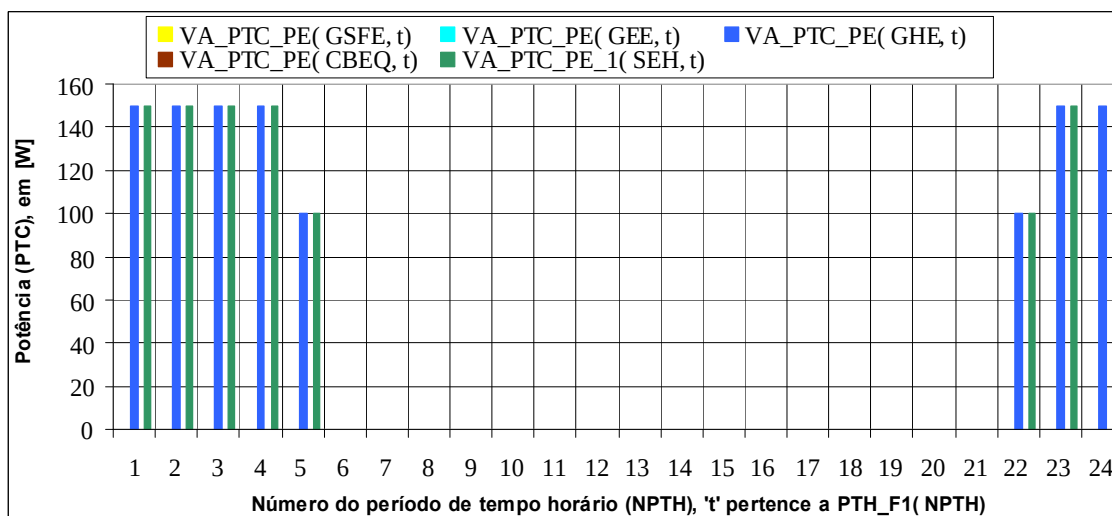


Gráfico 7.30: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do GHE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH

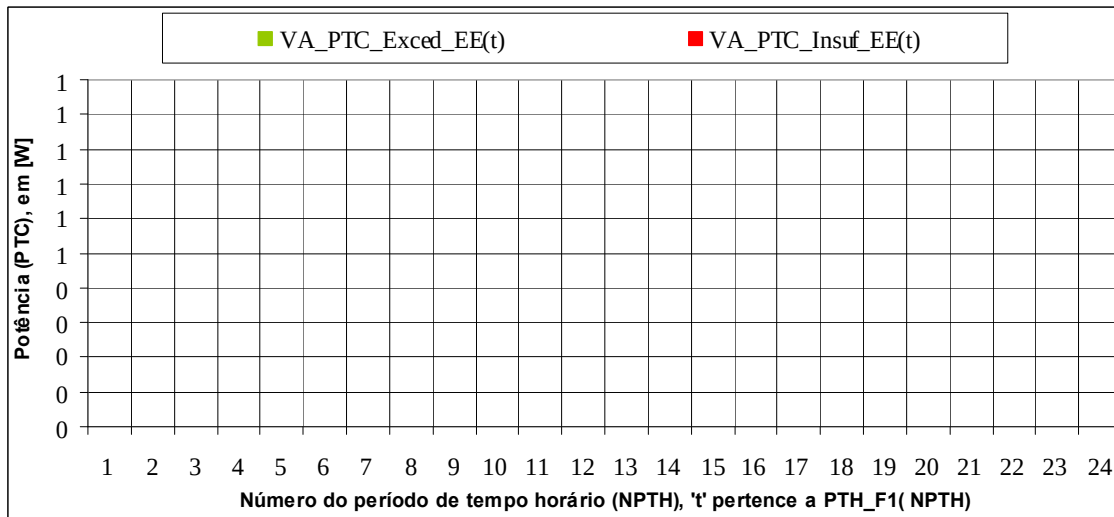


Gráfico 7.31: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 2 e para a 2ª configuração do SEH

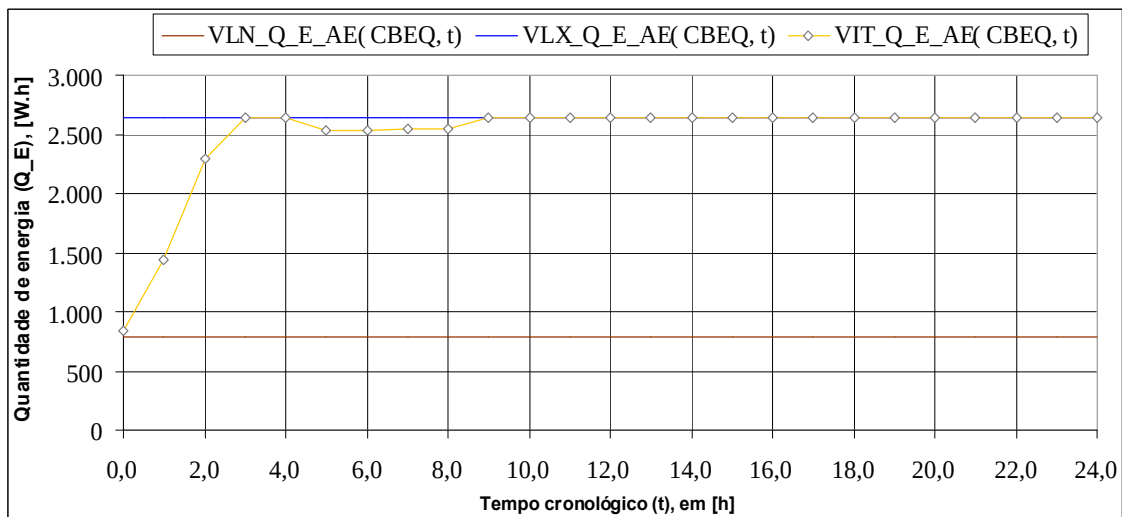


Gráfico 7.32: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH

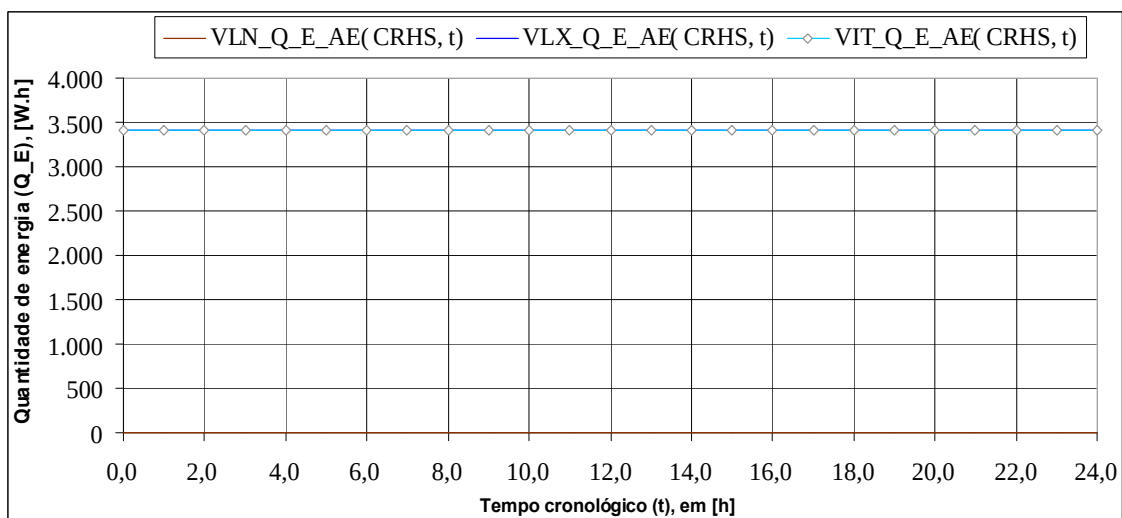


Gráfico 7.33: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH

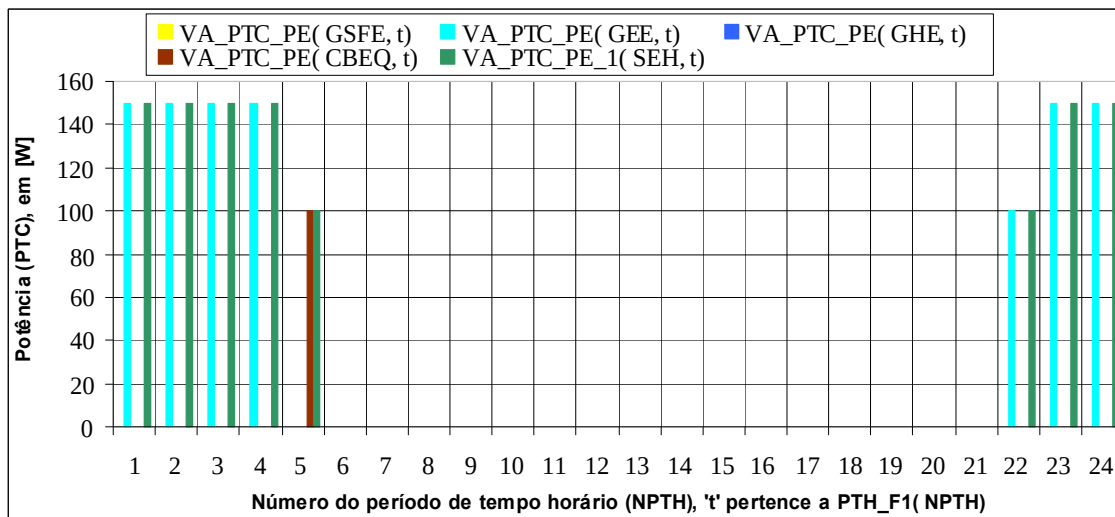


Gráfico 7.34: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do GHE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH

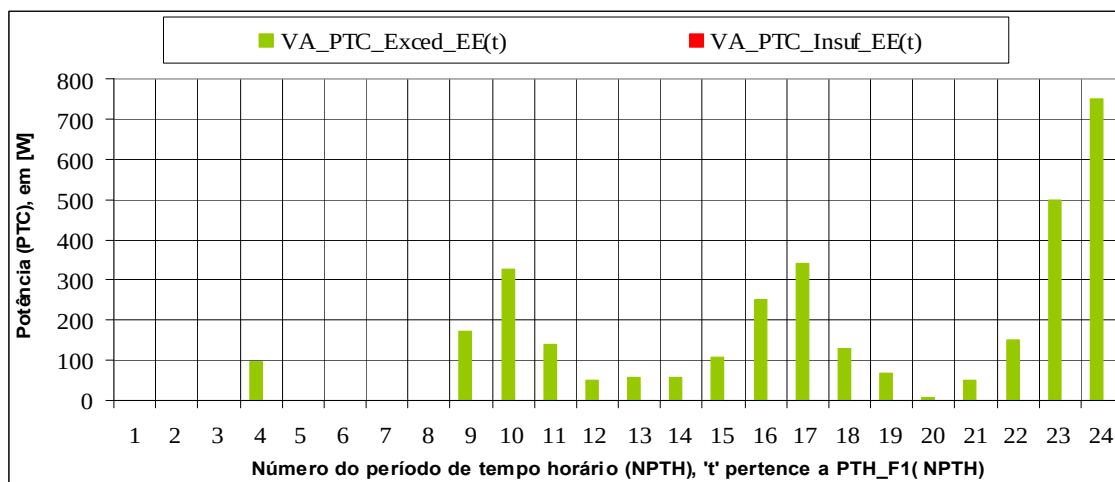


Gráfico 7.35: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 3 e para a 1ª configuração do SEH

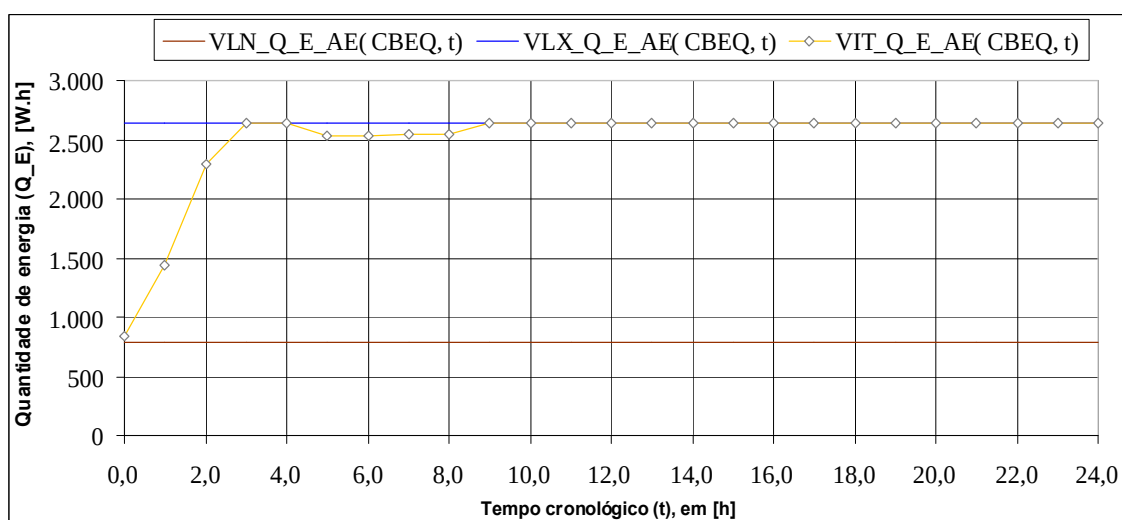


Gráfico 7.36: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia 'electrolítica' armazenada no CBEQ, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH

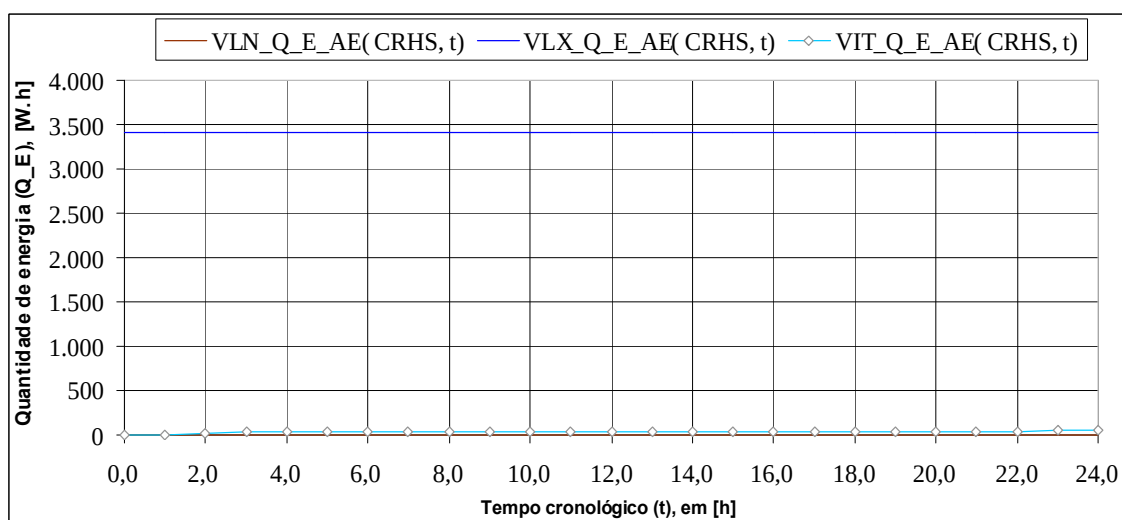


Gráfico 7.37: Valores limitativos e integrativos da quantidade de energia hídrica potencial armazenada no CRHS, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH

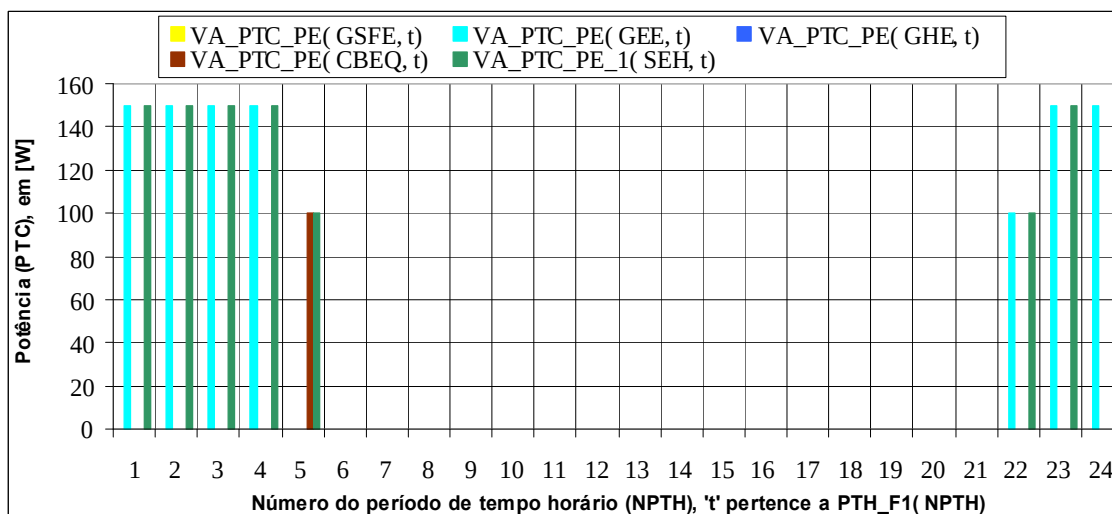


Gráfico 7.38: Valores absolutos médios de potência das produções eléctricas do GSFE, do GEE, do GHE, do CBEQ e total (ou de índice 1) do SEH, que contribuem para o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH

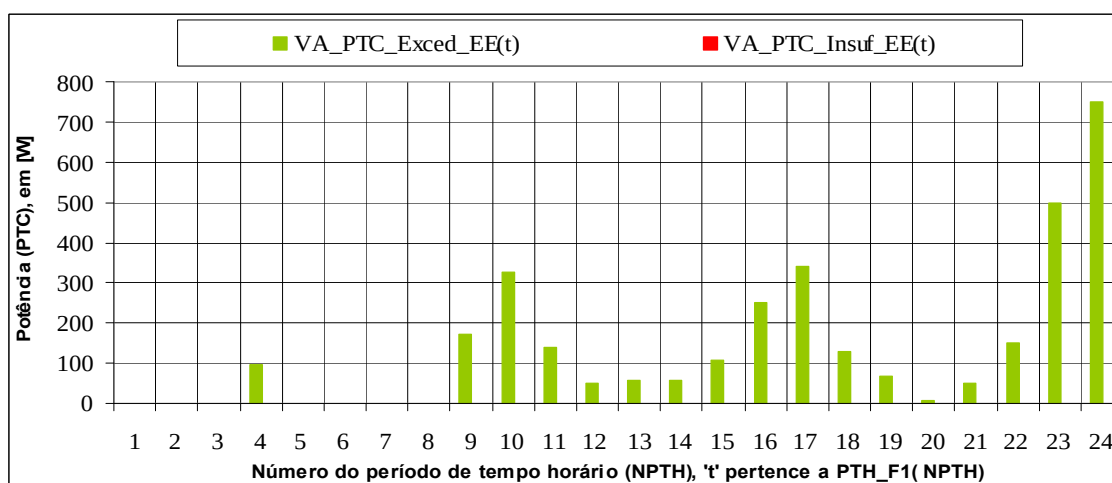


Gráfico 7.39: Valores absolutos médios de potência da excedência e da insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do SEH, para satisfazer o consumo eléctrico do SCEE, em função do tempo cronológico, para o dia 4 e para a 1ª configuração do SEH

No dia 2, não há excedência nem insuficiência de produção de energia eléctrica à saída do sistema energético híbrido (SEH), para satisfazer o consumo eléctrico do sistema consumidor eléctrico externo, nas duas configurações do SEH, sendo toda a produção eléctrica efectuada pelo gerador hidro-eléctrico, conforme se pode verificar nos gráficos 7.25, 7.26, 7.30 e 7.31.

Para a 1ª configuração do SEH, o armazenamento energético do conjunto de reservatórios hídricos superiores (gráfico 7.24) está próximo do limite mínimo no fim do dia e é bastante inferior ao respectivo valor no início do dia, enquanto que o armazenamento energético do conjunto de baterias electroquímicas (gráfico 7.23) no fim do dia é ligeiramente superior ao do início do dia. Isso implica que no dia seguinte haverá insuficiência de produção eléctrica para satisfazer o consumo eléctrico externo, caso se mantenha as condições do dia 2 excepto os armazenamentos energéticos iniciais do dia seguinte que são iguais aos armazenamentos energéticos finais do dia 2.

Para a 2ª configuração do SEH, o armazenamento energético do conjunto de baterias electroquímicas (gráfico 7.28) aumentou bastante até ao fim do dia, e o armazenamento energético do conjunto de reservatórios hídricos superiores (gráfico 7.29) diminui para cerca de metade do valor inicial. Se as condições do dia 2 se mantiverem para o dia seguinte, sendo os armazenamentos energéticos iniciais iguais aos armazenamentos energéticos finais do dia 2, então não ocorrerá insuficiência de produção de electricidade para fornecer ao sistema consumidor eléctrico externo.

No dia 3, o consumo eléctrico externo é satisfeito pela produção eléctrica do gerador 'eolo-eléctrico' na maior parte dos períodos de tempo horários elementares em que é necessário, excepto no período de tempo horário 5 para o qual o consumo eléctrico externo é satisfeito pela produção eléctrica do conjunto de baterias electroquímicas, tal como se pode conferir no gráfico 7.34. Existe excedência de produção de energia eléctrica do SEH relativamente ao consumo eléctrico externo nos períodos de tempo horários elementares 4 e de 9 a 24, que se pode comprovar no gráfico 7.35. Esse excesso de electricidade não pode ser aproveitado para armazenamento energético nos sistemas armazenadores de energia, porque o conjunto de reservatórios hídricos superiores (gráfico 7.33) está cheio e o conjunto de baterias electroquímicas (gráfico 7.32) está no limite máximo em quase todos aqueles períodos de tempo horários excepto no período de tempo horário 9 para o qual ainda há algum armazenamento energético consumindo parcialmente a electricidade disponível.

No dia 4, o consumo eléctrico externo é satisfeito do mesmo modo que no dia 3, e a excedência de produção eléctrica em relação ao consumo eléctrico externo é igual à do dia 3, podendo-se comprovar nos gráficos 7.38 e 7.39 para o dia 4 e respectivamente nos gráficos 7.34 e 7.35 para o dia 3. Apesar de haver electricidade excedente, esta electricidade não pode ser aproveitada para armazenamento energético no conjunto de reservatórios hídricos superiores, porque não há água suficiente no conjunto de reservatórios hídricos inferiores, que seja bombeada para o conjunto de reservatórios hídricos superiores, conforme se pode conferir no gráfico 7.37.

Capítulo 8 - Estudo de alguns SEH's usando o programa "HOMER"

Na realização do estudo de alguns sistemas energéticos híbridos (SEH's), foi usado o programa "HOMER", versão 2.41 Beta, uma vez que este programa permite encontrar soluções optimizadas de sistema energético, e avaliar as sensibilidades de diversos parâmetros.

8.1 - Simulação do SEH existente no edifício J da FEUP

Para simular o sistema energético com componentes existentes no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), foram consideradas quatro situações principais no equipamento do sistema, as quais são:

- sistema energético parcial que só tem energia eléctrica produzida pelo gerador 'eolo-eléctrico' com proveniência de energia no exterior do sistema;
- sistema energético parcial que tem ou só energia eléctrica produzida pelo gerador 'solar-foto-eléctrico' com proveniência de energia no exterior do sistema, ou energia eléctrica produzida pelo gerador 'solar-foto-eléctrico' e na rede eléctrica exterior;
- sistema energético completo com a junção entre a produção eléctrica do gerador 'eolo-eléctrico' e a do gerador 'solar-foto-eléctrico', e sem ligação à rede eléctrica exterior;
- sistema energético completo com a junção entre a produção eléctrica do gerador 'eolo-eléctrico' e a do gerador 'solar-foto-eléctrico', e com ligação à rede eléctrica exterior.

Para cada situação no equipamento do sistema, considerou-se dois projectos para a simulação do sistema energético, entre os quais se alterou apenas um parâmetro, conforme se pode verificar na tabela 8.1.

Legenda da tabela 8.1:

- NPSE → número do projecto de sistema energético
- CPSE → código do projecto de sistema energético
- GEE → gerador 'eolo-eléctrico'
- GSFE → gerador 'solar-foto-eléctrico'
- CBEQ → conjunto de baterias electroquímicas
- CTCE → conjunto de conversores do tipo de corrente eléctrica, que é uma parte do conjunto de barramentos e conversores de energia eléctrica (BCEE)
- CSP1 → 'carga-de-sistema' primária de índice 1, a qual corresponde ao sistema consumidor eléctrico externo (SCEE) de área local, que é constituído pelo projector de luz (PL)
- REE → rede eléctrica exterior, que pode corresponder a um sistema consumidor eléctrico externo (SCEE) de área alargada, ou a um sistema produtor eléctrico externo
- E_EÓL → recurso de energia eólica
- E_SLR → recurso de energia solar

NPSE	CPSE	Equipamento do sistema	Recursos energéticos
1	C1-1_GEE_1	GEE; CBEQ; CTCE; CSP1	E_EÓL
2	C1-1_GEE_2	GEE; CBEQ; CTCE; CSP1	E_EÓL
3	C1-2_GSFE_1	GSFE; CBEQ; CTCE; CSP1; REE	E_SLR
4	C1-2_GSFE_2	GSFE; CBEQ; CTCE; CSP1; REE	E_SLR
5	C2-1_SLRE_1	GEE; GSFE; CBEQ; CTCE; CSP1	E_EÓL; E_SLR
6	C2-1_SLRE_2	GEE; GSFE; CBEQ; CTCE; CSP1	E_EÓL; E_SLR
7	C2-2_CLRE_1	GEE; GSFE; CBEQ; CTCE; CSP1; REE	E_EÓL; E_SLR
8	C2-2_CLRE_2	GEE; GSFE; CBEQ; CTCE; CSP1; REE	E_EÓL; E_SLR

NPSE	Comentários
1	Com encurtamento máximo de capacidade produtiva anual, no valor de 5 [%].
2	Sem encurtamento máximo de capacidade produtiva anual, no valor de 0 [%].
3	1) Com encurtamento máximo de capacidade produtiva anual, no valor de 5 [%]. 2) Sem possibilidade de compra de electricidade à rede eléctrica exterior (REE).
4	1) Com encurtamento máximo de capacidade produtiva anual, no valor de 5 [%]. 2) Com possibilidade de compra de electricidade à rede eléctrica exterior (REE).
5	Com encurtamento máximo de capacidade produtiva anual, no valor de 5 [%].
6	Sem encurtamento máximo de capacidade produtiva anual, no valor de 0 [%].
7	1) Com encurtamento máximo de capacidade produtiva anual, no valor de 5 [%]. 2) Sem possibilidade de compra de electricidade à rede eléctrica exterior (REE).
8	1) Com encurtamento máximo de capacidade produtiva anual, no valor de 5 [%]. 2) Com possibilidade de compra de electricidade à rede eléctrica exterior (REE).

Tabela 8.1: Características principais da composição dos projectos de sistema energético para simulação e análise

8.1.1 - Caracterização dos recursos energéticos

As imagens das janelas do programa "HOMER" estão na parte 1 do anexo 1 (A1.1).

Para o recurso energético solar, os dados da intensidade da radiação solar global foram obtidos a partir do programa "RET-Screen" «[28]», para a localidade do Porto, os quais estão na tabela 8.2.

NM	IRSGD_MM	NM	IRSGD_MM	NM	IRSGD_MM	NM	IRSGD_MM
1	1,70	4	5,63	7	7,33	10	3,41
2	2,68	5	6,46	8	6,45	11	2,29
3	4,22	6	7,01	9	4,73	12	1,99

Tabela 8.2: Dados da intensidade de radiação solar global por dia, em valor médio mensal

Legenda:

NM → número do mês

IRSGD_MM → intensidade de radiação solar global por dia, em valor médio mensal, num plano horizontal junto à superfície terrestre, que também se pode designar por densidade de quantidade de energia da radiação solar por unidade de área durante um dia, em valor médio mensal, e que é expressa em [kW.h/m²/d]

Os valores médios anuais são:

- para a intensidade de radiação solar global diária: 4,502 [kW.h/m²/d];
- para o índice de claridade: 0,582.

Para o recurso energético eólico, os dados da velocidade do vento, que estão na tabela 8.3, são fictícios e estimados com base em locais semelhantes ao local onde está o gerador 'eolo-eléctrico' da FEUP. Foram considerados valores para os seguintes parâmetros:

- altitude (acima do nível do mar): 115 [m];
- altura do anemómetro: 15 [m];
- variação da velocidade do vento com a altura:
 - perfil da velocidade do vento: Logarítmico;
 - comprimento da rugosidade da superfície típica: 2 [m] → Espaço sub-urbano;
- factor de forma (k) da distribuição de "Weibull": 1,8;
- factor de auto-correlação: 0,85;
- vigor do padrão diurno: 0,25;
- hora do valor máximo (que também se pode designar por valor de pico) para a velocidade do vento: 21 [hor].

NM	VV_MM	NM	VV_MM	NM	VV_MM	NM	VV_MM
1	6,42	4	5,46	7	4,75	10	6,85
2	6,65	5	4,35	8	6,32	11	7,64
3	6,30	6	4,63	9	6,48	12	6,98

Tabela 8.3: Dados da velocidade do vento, em valor médio mensal

Legenda:

NM → número do mês

VV_MM → velocidade do vento, em valor médio mensal, expressa em [m/s]

O valor médio anual da velocidade do vento é 6,065 [m/s].

8.1.2 - Caracterização dos componentes de sistema energético fornecedor de electricidade

As imagens das janelas do programa "HOMER" estão na parte 2 do anexo 1 (A1.2).

O gerador 'solar-foto-eléctrico', que também se pode designar por arranjo de painéis fotovoltaicos, existente no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), é constituído por dois painéis fotovoltaicos que estão fixos, logo não têm seguimento do movimento aparente do Sol. O tipo de corrente eléctrica de saída é em corrente contínua. Para os seguintes parâmetros, os valores definidos são:

- inclinação em relação ao plano horizontal: 25 [°];
- azimute com sentido positivo para Oeste e com referência de Sul: 0 [°].

Considerou-se valores fictícios com base em valores típicos para os seguintes parâmetros:

- tempo de existência (que se pode designar ambigualmente por «vida»): 20 [ano];
- factor de aproveitamento de energia eléctrica: 90 [%];
- reflectância do solo: 20 [%].

Para a potência eléctrica produzida de 1 [kW], os custos definidos, com base em valores típicos, são:

- custo de capital inicial no investimento: 5.250 [€];
- custo de substituição (do equipamento): 4.500 [€];
- custo de operação e manutenção: 50 [€/ano].

Os tamanhos a considerar, em potência do gerador 'solar-foto-eléctrico', são {0; 0,112; 0,224; 0,336; 0,448; 0,560; 1,120; 11,200} [kW].

O gerador 'eolo-eléctrico' existente, que também se pode designar por aerogerador, é da marca "Fortis" e do modelo "Passaat 1400", feito pelo fabricante holandês "Fortis". Este gerador 'eolo-eléctrico' tem um rotor de turbina com 3 pás e com o diâmetro de 3,12 [m]. A saída de corrente eléctrica é em corrente alternada.

Esse gerador 'eolo-eléctrico' tem uma saída de potência eléctrica máxima de 1.400 [W] para a velocidade do vento entre 16 [m/s] e 18 [m/s], e um aproveitamento do vento para a velocidade do vento entre 3 [m/s] e 25 [m/s].

A altura do 'centralizador' (que se designa na gíria por «cubo») do rotor de turbina eólica é aproximadamente 18 [m], e foi suposto que o tempo de existência do gerador 'eolo-eléctrico' é 20 [ano].

Para um gerador 'eolo-eléctrico', os custos definidos, com base em valores típicos, são:

- custo de capital inicial no investimento: 5.500 [€];
- custo de substituição (do equipamento): 4.000 [€];
- custo de operação e manutenção: 100 [€/ano].

As quantidades a considerar de geradores 'eolo-eléctricos' são {0; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 20}.

O conjunto de baterias electroquímicas existente é constituído por duas baterias electroquímicas da marca 'Autosil' e do modelo 'E12-110, Série E', que foram feitas pelo fabricante português 'Autosil'. Essas baterias electroquímicas têm uma tensão eléctrica nominal em corrente contínua de 12 [V], e uma capacidade nominal de armazenamento energético de 110 [A.h] que corresponde a um armazenamento de energia 'electrolítica' por bateria no valor de 1,32 [kW.h].

Para uma bateria electroquímica, os custos definidos, com base em valores típicos, são:

- custo de capital inicial no investimento: 200 [€];
- custo de substituição (do equipamento): 180 [€];
- custo de operação e manutenção: 10 [€/ano].

As quantidades a considerar de baterias electroquímicas são {0; 1; 2; 4; 6; 8; 10; 40}.

O conjunto de dispositivos conversores do tipo de corrente eléctrica pode ser constituído por conversores de CC para CA (que também se podem designar por inversores), por conversores de CA para CC (que também se podem designar por rectificadores), ou por ambos os tipos de conversores.

Um conversor de CC para CA pode funcionar simultaneamente com um gerador de CA.

Foram supostos valores nos seguintes parâmetros dos conversores de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA):

- tempo de existência em funcionamento: 10 [ano];
- eficiência (que também se pode designar por rendimento energético): 90 [%].

Nos conversores de corrente alternada para corrente contínua, escolheu-se os seguintes dados:

- capacidade relativa aos conversores de CC para CA: 75 [%];
- eficiência: 90 [%].

Para a potência eléctrica convertível de 1 [kW], os custos definidos, com base em valores típicos, são:

- custo de capital inicial no investimento: 1.250 [€];
- custo de substituição (do equipamento): 1.000 [€];
- custo de operação e manutenção: 50 [€/ano].

Os tamanhos a considerar, em potência do conjunto de conversores, são {0,05; 0,1; 0,15; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 2} [kW].

A rede eléctrica exterior pode funcionar como um fornecedor de electricidade para a 'carga-de-sistema' primária de índice 1 e para o conjunto de baterias electroquímicas, quando há possibilidade de comprar electricidade. A capacidade de compra de electricidade à rede, em valor máximo definido, é 0,1 [kW]. Existem emissões de substâncias poluentes na produção de electricidade que é comprada à rede.

As tarifas (que também se designam por taxas) definidas para compra de electricidade são:

- 0,08 [€/kW.h] da tarifa 1 em períodos de menor consumo («vazio»);
- 0,15 [€/kW.h] da tarifa 2 em períodos de maior consumo («cheia»).

8.1.3 - Caracterização do sistema consumidor de energia eléctrica

As imagens das janelas do programa "HOMER" estão na parte 3 do anexo 1 (A1.3) e na parte 2 do anexo 1 (A1.2).

A 'carga-de-sistema' primária de índice 1, que é o projector de luz do sistema consumidor eléctrico externo de área local, requer electricidade em corrente alternada.

Foram definidos dois perfis diários de consumo eléctrico da 'carga-de-sistema' primária de índice 1, cujos dados são apresentados na tabela 8.4, em que um perfil é para o período semestral com os meses { 1; 2; 3; 10; 11; 12} e o outro perfil é para o período semestral com os meses { 4; 5; 6; 7; 8; 9}.

NH	P1	P2	NH	P1	P2	NH	P1	P2	NH	P1	P2
1	0,150	0,150	7	0,100	0,000	13	0,000	0,000	19	0,150	0,000
2	0,150	0,150	8	0,000	0,000	14	0,000	0,000	20	0,150	0,000
3	0,150	0,150	9	0,000	0,000	15	0,000	0,000	21	0,150	0,000
4	0,150	0,150	10	0,000	0,000	16	0,000	0,000	22	0,150	0,100
5	0,150	0,100	11	0,000	0,000	17	0,000	0,000	23	0,150	0,150
6	0,150	0,000	12	0,000	0,000	18	0,100	0,000	24	0,150	0,150

Tabela 8.4: Dados do consumo de electricidade para cada hora de um dia, em dois períodos semestrais

Legenda:

NH → número da hora de um dia

P1 → potência eléctrica consumida pela 'carga-de-sistema' primária de índice 1 (CSP1), em valor médio horário, expressa em quilo-"Watt" [kW], para o 1º período semestral (PT1) com os meses { 1; 2; 3; 10; 11; 12}

$$P1 = PTC_ELT_C(CSP1, PT1, t) = PTC_CE(CSP1, PT1, t) \wedge t \in [NH - 1; NH[$$

P2 → potência eléctrica consumida pela 'carga-de-sistema' primária de índice 1 (CSP1), em valor médio horário, expressa em quilo-"Watt" [kW], para o 2º período semestral (PT2) com os meses { 4; 5; 6; 7; 8; 9}

$$P2 = PTC_ELT_C(CSP1, PT2, t) = PTC_CE(CSP1, PT2, t) \wedge t \in [NH - 1; NH[$$

O consumo de electricidade é igual em todos os 7 dias-de-semana para um determinado mês.

A incerteza (que se pode designar por «ruído»), que é adicionada na estimativa de valores horários de consumo de electricidade durante um ano, tem um valor de 0 [%] por dia e por hora.

Para o consumo eléctrico durante um ano, obtém-se os seguintes parâmetros calculados:

- valor médio anual dos valores integrativos diários da quantidade de energia de consumo eléctrico da 'carga-de-sistema' primária de índice 1: 1,55 [kW.h/d];
- valor máximo anual da potência de consumo eléctrico: 0,15 [kW];
- «factor de carga» (que também se pode designar por valor proporcional entre potência média e potência máxima): 0,43.

A rede eléctrica exterior pode funcionar como um sistema consumidor eléctrico externo de área alargada para consumir os excessos de electricidade produzida pelo gerador 'solar-foto-eléctrico' e-ou pelo gerador 'eolo-eléctrico' a qual não pode ser utilizada pela 'carga-de-sistema' primária de índice 1 nem pelo conjunto de baterias electroquímicas.

A capacidade de venda de electricidade à rede é 1.000 [kW].

As tarifas (que se podem designar por taxas) definidas para venda de electricidade são:

- 0,04 [€/kW.h] da tarifa 1 em períodos de menor consumo («vazio»);
- 0,075 [€/kW.h] da tarifa 2 em períodos de maior consumo («cheia»).

8.1.4 - Definição de parâmetros gerais do sistema energético

As imagens das janelas do programa "HOMER" estão na parte 4 do anexo 1 (A1.4).

Na janela de introdução de dados de economia do sistema energético, considerou-se os seguintes parâmetros económicos:

- taxa de juro real anual: 8 [%];
- tempo de existência do projecto: 25 [ano];
- custo fixo de capital de sistema: 0 [€];
- custo fixo de operação e manutenção de sistema: 0 [€/ano];
- penalidade por encurtamento da capacidade produtiva: 0 [€/kW.h].

Foi feita a suposição da igualdade de câmbio de moeda entre um euro e um dólar estado-unidense-americano (1 [€] = 1 [\$]).

Na janela de introdução de dados para controlo de sistema, o passo de tempo cronológico (que também se designa por intervalo de tempo) para simulação está definido com o valor de 60 minutos.

A estratégia de despacho pode ser por seguimento da carga-de-sistema, ou por carregamento de ciclo (de armazenamento do conjunto de baterias electroquímicas) em que se aplica um ponto-de-definição a 80 % do estado de carga eléctrica do conjunto de baterias electroquímicas.

O controlo de gerador permite sistemas com múltiplos geradores a funcionar simultaneamente, e também permite sistemas com capacidade de gerador menor do que o consumo eléctrico máximo da carga-de-sistema.

Na janela de introdução de dados para extensão da rede eléctrica, definiu-se valores para seguintes parâmetros:

- custo de capital: 8.000,00 [€/km];
- custo de operação e manutenção: 160,00 [€/ano/km];
- preço de electricidade da rede: 0,15 [€/kW.h].

Na janela de introdução de dados para emissões de substâncias poluentes, as penalidades das emissões de gases de efeito-de-estufa e de outras substâncias poluentes foram consideradas todas iguais a zero, e não foram definidos limites máximos dessas emissões.

Na janela de introdução de dados para restrições de praticabilidade dos sistemas, o encurtamento máximo de capacidade (produtiva) anual foi considerado para duas situações com os valores de 0 [%] e de 5 [%], e este parâmetro corresponde à quantidade de energia eléctrica não-fornecida.

A fracção mínima de energia renovável é 50 [%], para a produção de electricidade.

A reserva 'operante' (que também se pode designar por girante) é definida:

- como percentagem da carga-de-sistema:
 - carga-de-sistema horária: 10 [%];
 - carga-de-sistema máxima anual: 0 [%].
- como percentagem da saída de electricidade proveniente de energia renovável:
 - saída de electricidade proveniente de energia solar: 20 [%];
 - saída de electricidade proveniente de energia eólica: 40 [%].

8.1.5 - Selecção da melhor configuração do sistema energético em várias situações

As imagens das janelas do programa "HOMER" estão na parte 5 do anexo 1 (A1.5).

Para os oito projectos de sistema energético simulados que correspondem a oito situações particulares na introdução de dados, obteve-se os respectivos relatórios de optimização que se apresentam na tabela 8.5.

NPSE	CPSE	NSS	NSP	NSNP	NSNP1	NSNP2	NSNS	TCS	VPS
1	C1-1_GEE_1	726	618	108	108	0	298	0:00:14	51,9
2	C1-1_GEE_2	436	350	86	86	0	588	0:00:09	48,4
3	C1-2_GSFE_1	78	60	18	18	0	946	0:00:05	15,6
4	C1-2_GSFE_2	670	480	190	106	84	1.506	0:00:35	19,1
5	C2-1_SLRE_1	5.880	5.004	876	876	0	2.312	0:01:50	53,5
6	C2-1_SLRE_2	3.548	2.850	698	698	0	4.644	0:01:10	50,7
7	C2-2_CLRE_1	5.880	5.004	876	876	0	2.312	0:04:44	20,7
8	C2-2_CLRE_2	13.416	12.336	1.080	996	84	3.096	0:14:49	15,1

Tabela 8.5: Relatórios de optimização dos projectos de sistema energético

Legenda:

NPSE → número do projecto de sistema energético

CPSE → código do projecto de sistema energético

NSS → número de soluções simuladas

NSP → número de soluções praticáveis

NSNP → número de soluções não-praticáveis

NSNP1 → número de soluções não-praticáveis devido à restrição de encurtamento da capacidade produtiva

NSNP2 → número de soluções não-praticáveis devido à restrição de fracção mínima de energia renovável

NSNS → número de soluções não-simuladas devido à impraticabilidade prévia

TCS → tempo de cálculo das simulações, expresso em ([hor]:[min]:[seg])

VPS → velocidade de processamento das simulações, expressa em simulações por segundo [simul/seg]

A melhor configuração de sistema energético para cada projecto tem uma determinada arquitectura de sistema que consiste no conjunto de componentes do sistema energético com os seus tamanhos definidos, tal como se pode ver na tabela 8.6.

NPSE	CPSE	Componentes									ED	TSHE
		CGEE		GSFE		CBEQ		CVCA	CVAC	REE		
		QD	PT	PT	QD	QD	QET	PT	PT	PT		
		[UD]	[kW]	[kW]	[UD]	[UD]	[kW.h]	[kW]	[kW]	[kW]		
1	C1-1_GEE_1	1	1,400	-----	-----	2	2,640	0,150	0,113	-----	CCB	Simple
2	C1-1_GEE_2	1	1,400	-----	-----	4	5,280	0,250	0,188	-----	CCB	Simple
3	C1-2_GSFE_1	-----	-----	1,120	20	10	13,200	0,250	0,188	0,000	CCB	Simple
4	C1-2_GSFE_2	-----	-----	0,336	6	2	2,640	0,100	0,075	0,100	SCS	Híbrido
5	C2-1_SLRE_1	1	1,400	0,000	0	2	2,640	0,150	0,113	-----	CCB	Simple
6	C2-1_SLRE_2	1	1,400	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	-----	CCB	Simple
7	C2-2_CLRE_1	1	1,400	0,000	0	2	2,640	0,150	0,113	0,000	CCB	Simple
8	C2-2_CLRE_2	0	0,000	0,336	6	2	2,640	0,100	0,075	0,100	SCS	Híbrido

Tabela 8.6: Arquitecturas de sistema das melhores configurações para os projectos de sistema energético

Legenda:

NPSE → número do projecto de sistema energético

CPSE → código do projecto de sistema energético

QD → quantidade de dispositivos, expressa em unidades de dispositivo [UD]

PT → potência total, expressa em quilo-“Watt” [kW]

QET → quantidade de energia total, expressa em quilo-“Watt”-hora [kW.h]

ED → estratégia de despacho

SCS → seguimento da carga-de-sistema

CCB → carregamento de ciclo de armazenamento do conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ)

CVCA → conjunto de conversores de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), ou de inversores

CVAC → conjunto de conversores de CA para CC, ou de rectificadores

CGEE → conjunto de geradores ‘eolo-eléctricos’

GSFE → gerador ‘solar-foto-eléctrico’

CBEQ → conjunto de baterias electroquímicas

REE → rede eléctrica exterior

TSHE → tipo de sistema energético relativamente à ‘hibridização’ da entrada de energia no sistema, que pode ser:

- simples → só existe uma forma-de-energia que entra no sistema;

- híbrido → existe duas ou mais formas-de-energia que entram no sistema e que são transformadas para uma mesma forma-de-energia a qual é juntada para a mesma finalidade.

Os custos principais da melhor configuração de sistema energético para cada projecto são mostrados na tabela 8.7.

NPSE	CPSE	CTCI	CT_TEP_VAL	CNE	CCA	CSA	CFMA	CTA
		[€]	[€]	[€/kW.h]	[€/ano]	[€/ano]	[€/ano]	[€/ano]
1	C1-1_GEE_1	6.088,00	8.191,00	1,392	570,00	69,50	128,00	767,00
2	C1-1_GEE_2	6.613,00	9.247,00	1,531	619,00	94,30	153,00	866,00
3	C1-2_GSFE_1	8.193,00	11.371,00	1,952	767,00	166,00	132,00	1.065,00
4	C1-2_GSFE_2	2.289,00	3.561,00	0,609	214,00	52,60	66,60	334,00
5	C2-1_SLRE_1	6.088,00	8.191,00	1,392	570,00	69,50	128,00	767,00
6	C2-1_SLRE_2	6.613,00	9.247,00	1,531	619,00	94,30	153,00	866,00
7	C2-2_CLRE_1	6.088,00	6.458,00	1,097	570,00	69,50	-35,00	605,00
8	C2-2_CLRE_2	2.289,00	3.561,00	0,609	214,00	52,60	66,60	334,00

Tabela 8.7: Custos principais das melhores configurações para os projectos de sistema energético

Legenda:

NPSE → número do projecto de sistema energético

CPSE → código do projecto de sistema energético

CTCI → custo total de capital inicial

CT_TEP_VAL → custo total, durante o tempo de existência do projecto, em valor actual líquido

CNE → custo 'nivelado' de electricidade

CCA → custo de capital anualizado, ou dividido por um determinado número de anos do tempo de existência do projecto

CSA → custo de substituição anualizado

CFMA → custo de funcionamento (ou operação) e manutenção anual

CTA → custo total anualizado

O balanço energético entre os componentes de produção de electricidade e os componentes de consumo de electricidade (que também se podem designar por 'cargas-de-sistema') é apresentado no seguinte quadro 8.1 para cada projecto de sistema energético.

NPSE	Produção eléctrica			Consumo eléctrico		
	Componente	QPA	FT	Componente	QCA	FT
		[kW.h/ano]	[%]		[kW.h/ano]	[%]
1	CGEE	3.140	100,0	CSP1	551	100,0
	Total	3.140	100,0	Total	551	100,0
2	CGEE	3.140	100,0	CSP1	566	100,0
	Total	3.140	100,0	Total	566	100,0
3	GSFE	1.900	100,0	CSP1	546	52,9
	REE	0	0,0	REE	486	47,1
	Total	1.900	100,0	Total	1.032	100,0
4	GSFE	570	58,9	CSP1	548	74,0
	REE	398	41,1	REE	193	26,0
	Total	968	100,0	Total	741	100,0
5	CGEE	3.140	100,0	CSP1	551	100,0
	GSFE	0	0,0			
	Total	3.140	100,0	Total	551	100,0
6	CGEE	3.140	100,0	CSP1	566	100,0
	GSFE	0	0,0			
	Total	3.140	100,0	Total	566	100,0
7	CGEE	3.140	100,0	CSP1	551	17,9
	GSFE	0	0,0	REE	2.527	82,1
	REE	0	0,0			
	Total	3.140	100,0	Total	3.078	100,0
8	CGEE	0	0,0	CSP1	548	74,0
	GSFE	570	58,9	REE	193	26,0
	REE	398	41,1			
	Total	968	100,0	Total	741	100,0

Quadro 8.1: Balanços energéticos das melhores configurações para os projectos de sistema energético

Legenda:

NPSE → número do projecto de sistema energético

- QPA → quantidade de energia eléctrica produzida por ano, expressa em quilo-“Watt”-hora por ano [kW.h/ano]
 QCA → quantidade de energia eléctrica consumida por ano, expressa em quilo-“Watt”-hora por ano [kW.h/ano]
 FT → fracção do total, expressa em percentagem [%]

Para cada projecto de sistema energético, obteve-se parâmetros de saldo energético que são mostrados na seguinte tabela 8.8.

NPSE	CPSE	QPAT	QCAT	DT_PE_CE	F_ER_PE	Q1	Q2	Q3	F1	F2	F3
		[kW.h/ano]	[kW.h/ano]	[kW.h/ano]	[%]	[kW.h/ano]	[kW.h/ano]	[kW.h/ano]	[%]	[%]	[%]
1	C1-1_GEE_1	3.140	551	2.589	100,0	2.527	14	23	80,5	2,5	4,2
2	C1-1_GEE_2	3.140	566	2.574	100,0	2.505	0	0	79,8	0,0	0,0
3	C1-2_GSFE_1	1.900	1.032	868	100,0	614	20	22	32,3	1,9	2,1
4	C1-2_GSFE_2	968	741	227	58,9	151	18	25	15,6	2,4	3,4
5	C2-1_SLRE_1	3.140	551	2.589	100,0	2.527	14	23	80,5	2,5	4,2
6	C2-1_SLRE_2	3.140	566	2.574	100,0	2.505	0	0	79,8	0,0	0,0
7	C2-2_CLRE_1	3.140	3.079	61	100,0	0	14	23	0,0	0,5	0,7
8	C2-2_CLRE_2	968	741	227	58,9	151	18	25	15,6	2,4	3,4

Tabela 8.8: Parâmetros de saldo energético das melhores configurações para os projectos de sistema energético

Legenda:

- NPSE → número do projecto de sistema energético
 CPSE → código do projecto de sistema energético
 QPAT → quantidade de energia eléctrica produzida por ano em valor total, expressa em [kW.h/ano]
 QCAT → quantidade de energia eléctrica consumida por ano em valor total, expressa em [kW.h/ano]
 DT_PE_CE → diferença entre o total de produção eléctrica e o total de consumo eléctrico, por ano, expressa em [kW.h/ano]
 F_ER_PE → fracção de energia renovável na produção eléctrica, expressa em [%]
 Q1 → quantidade de energia eléctrica produzida por ano em excesso, expressa em [kW.h/ano]
 Q2 → quantidade de energia eléctrica requerida pela ‘carga-de-sistema’ que não foi encontrada na produção eléctrica, expressa em [kW.h/ano]
 Q3 → quantidade de energia eléctrica do encurtamento de capacidade produtiva, expressa em [kW.h/ano]
 F1 → fracção de Q1 em relação ao total de QPA, expressa em [%]

$$F1 = Q1 / QPAT \times 100 \%$$
 F2 → fracção de Q2 em relação ao total de QCA, expressa em [%]

$$F2 = Q2 / QCAT \times 100 \%$$
 F3 → fracção de Q3 em relação ao total de QCA, expressa em [%]

$$F3 = Q3 / QCAT \times 100 \%$$

A comparação do custo de electrificação entre um sistema energético isolado e um sistema energético ligado à rede é feita com base na distância máxima de extensão da rede até à qual o sistema energético ligado à rede tem menor custo, conforme se pode verificar na tabela 8.9 para os projectos de sistema energético que não têm o componente de rede eléctrica exterior (REE) na sua composição de equipamento.

NPSE	CPSE	D_Máx_Ext_R
		[km]
1	C1-1_GEE_1	0,750
2	C1-1_GEE_2	0,859
5	C2-1_SLRE_1	0,750
6	C2-1_SLRE_2	0,859

Tabela 8.9: Distâncias máximas de extensão da rede eléctrica

Nos oito projectos de sistema energético, o tempo de cálculo das simulações (TCS) varia entre o tempo mais breve de 5 [seg] e o tempo mais demorado de 14 [min] e 49 [seg], tal como se pode conferir na tabela 8.5. O tempo de cálculo das simulações (TCS) aumenta conforme o aumento do número de soluções simuladas (NSS). Algumas das soluções de sistema energético não são simuladas devido à impraticabilidade prévia, e algumas das soluções simuladas não são praticáveis devido a determinadas restrições, tais como o encurtamento da capacidade produtiva e a fracção mínima de energia renovável.

O 1º projecto de sistema energético tem, na arquitectura de sistema da melhor configuração, um gerador 'eolo-eléctrico' com potência de 1.400 [W] e duas baterias electroquímicas com limite máximo de armazenamento energético no valor de 2.640 [W.h], e não tem ligação à rede eléctrica exterior, conforme se pode verificar na tabela 8.6. Para este projecto de sistema energético, a restrição de encurtamento da capacidade produtiva tem o valor de 5 [%], e a arquitectura de sistema tem a mesma quantidade de dispositivos tal como na primeira implementação do sistema energético existente no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Se o encurtamento da capacidade produtiva for alterado para o valor de 0 [%], então é necessário mais duas baterias electroquímicas obtendo quantidade de energia total armazenável de 5.280 [W.h], e um aumento da potência do conjunto de dispositivos conversores do tipo de corrente eléctrica, tal como é demonstrado no 2º projecto de sistema energético.

O 3º projecto de sistema energético tem um gerador 'solar-foto-eléctrico' com a potência total de 1.120 [W] que corresponde a 20 painéis fotovoltaicos com 56 [W] cada, um conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ) com 10 baterias que permitem ter uma quantidade de energia total armazenável de 13.200 [W.h], e tem ligação à rede eléctrica exterior sem possibilidade de compra de electricidade o que permite só vender a electricidade excedente. Se for possível comprar até 100 [W] de electricidade à rede eléctrica exterior, então a potência total do gerador 'solar-foto-eléctrico' diminui para 336 [W] que corresponde a 6 painéis fotovoltaicos de 56 [W], a quantidade de dispositivos do conjunto de baterias electroquímicas diminui para duas baterias que corresponde a uma quantidade de energia total armazenável de 2.640 [W.h], e a potência total do conjunto de conversores do tipo de corrente eléctrica também diminui, tal como se verifica no 4º projecto de sistema energético.

A estratégia de despacho também se modifica do 3º projecto de sistema energético para o 4º projecto de sistema energético, passando do carregamento de ciclo de armazenamento do conjunto de baterias electroquímicas para o seguimento da carga-de-sistema.

Para o 5º e o 6º projectos de sistema energético, acrescentou-se o componente gerador 'solar-foto-eléctrico' ao equipamento considerado respectivamente no 1º e no 2º projectos de sistema energético, e após o cálculo das simulações, obtém-se os mesmos resultados para a arquitectura de sistema da melhor configuração.

Para o 7º e o 8º projectos de sistema energético, acrescentou-se o componente gerador 'eolo-eléctrico' ao equipamento considerado respectivamente no 3º e no 4º projectos de sistema energético. O resultado da arquitectura de sistema da melhor configuração no 8º projecto de sistema energético é igual ao do 4º projecto de sistema energético, e no 7º projecto de sistema energético o resultado é diferente do 3º projecto de sistema energético mas é igual ao resultado dos projectos de sistema energético 1 e 5.

O custo total de capital inicial varia entre 2.289,00 [€] e 8.193,00 [€], sendo o custo total, durante o tempo de existência do projecto, em valor actual líquido superior ao custo total de capital inicial para todos os oito projectos de sistema energético, podendo-se comprovar na tabela 8.7. O custo 'nivelado' de electricidade varia entre 0,61 [€/kW.h] e 1,95 [€/kW.h].

Tendo em conta os custos principais, o projecto de sistema energético com o melhor resultado é o projecto 8 que tem o mesmo resultado do projecto 4. O projecto 7 apresenta o 2º melhor resultado, e tem o valor -35,00 [€] para o custo de funcionamento e manutenção anual, o que significa que o proveito da venda de electricidade à rede eléctrica exterior é superior aos custos de funcionamento e manutenção do sistema energético, havendo deste modo um retorno positivo do investimento.

Nos projectos de sistema energético sem ligação à rede eléctrica exterior, a produção eléctrica anual é bastante superior ao consumo eléctrico anual, por conseguinte existe um desperdício elevado de electricidade, tal como se pode conferir no quadro 8.1 e na tabela 8.8. Enquanto que nos projectos de sistema energético com ligação à rede eléctrica exterior, o consumo eléctrico anual é maior do que a electricidade desperdiçada por ano, sendo o projecto 7 que tem o melhor resultado.

Nos projectos de sistema energético 1 e 5, a distância máxima de extensão da rede eléctrica é 750 [m], conforme se pode verificar na tabela 8.9, enquanto que nos projectos de sistema energético 2 e 6, essa distância é 859 [m] porque os custos das soluções destes projectos são maiores do que os dos projectos 1 e 5.

As melhores configurações dos projectos de sistema energético 4 e 8 são do tipo híbrido, conforme se pode ver na tabela 8.6, porque têm duas formas-de-energia de entrada em cada sistema energético que são a energia solar e a energia eléctrica proveniente da rede eléctrica exterior. Nos restantes projectos de sistema energético, as melhores configurações são do tipo simples, porque só existe uma forma-de-energia que entra em cada sistema energético.

8.2 - Simulação do SEH da primeira expansão

No programa "HOMER", não é possível simular um sistema armazenador de energia hídrica tal como foi modelizado no capítulo 4. No entanto, é possível simular algumas partes do sistema armazenador de energia hídrica que são o gerador hidro-eléctrico para um curso de água com barragem e o motor 'electro-hídrico' como uma 'carga-de-sistema' diferida para bombeamento de água.

Na simulação do sistema energético híbrido (SEH), os componentes gerador 'eolo-eléctrico', gerador 'solar-foto-eléctrico', 'carga-de-sistema' primária de índice 1, e conjunto de conversores do tipo de corrente eléctrica são iguais aos do sub-capítulo 8.1, e considerou-se dois grupos de situações principais no equipamento do SEH, que estão caracterizadas na tabela 8.10, os quais são:

- SEH que tem um gerador hidro-eléctrico e uma 'carga-de-sistema' diferida para bombeamento de água, e que pode ter ou não ligação à rede eléctrica exterior;
- SEH igual ao anterior mas que tem mais o conjunto de baterias electroquímicas.

NPSE	CPSE	Equipamento do sistema	Recursos energéticos
1	C1-1_SLRE	GEE; GSFE; CTCE; CSP1; GHE; CSDBA	E_EÓL; E_SLR; E_HDC
2	C1-2_CLRE	GEE; GSFE; CTCE; CSP1; GHE; CSDBA; REE	E_EÓL; E_SLR; E_HDC
3	C1-3_CLRE	GEE; GSFE; CTCE; CSP1; GHE; CSDBA; REE	E_EÓL; E_SLR; E_HDC
4	C2-1_SLRE	GEE; GSFE; CBEQ; CTCE; CSP1; GHE; CSDBA	E_EÓL; E_SLR; E_HDC
5	C2-2_CLRE	GEE; GSFE; CBEQ; CTCE; CSP1; GHE; CSDBA; REE	E_EÓL; E_SLR; E_HDC
6	C2-3_CLRE	GEE; GSFE; CBEQ; CTCE; CSP1; GHE; CSDBA; REE	E_EÓL; E_SLR; E_HDC

NPSE	Comentários
1	Sem ligação à rede eléctrica exterior (REE).
2	1) Com ligação à rede eléctrica exterior (REE). 2) Só é possível vender electricidade à rede eléctrica exterior (REE).
3	1) Com ligação à rede eléctrica exterior (REE). 2) É possível vender e comprar electricidade à rede eléctrica exterior (REE).
4	Sem ligação à rede eléctrica exterior (REE).
5	1) Com ligação à rede eléctrica exterior (REE). 2) Só é possível vender electricidade à rede eléctrica exterior (REE).
6	1) Com ligação à rede eléctrica exterior (REE). 2) É possível vender e comprar electricidade à rede eléctrica exterior (REE).

Tabela 8.10: Características principais da composição dos projectos de sistema energético da 1ª expansão para simulação e análise

Legenda:

NPSE → número do projecto de sistema energético

CPSE → código do projecto de sistema energético

GEE → gerador 'eolo-eléctrico'

GSFE → gerador 'solar-foto-eléctrico'

CBEQ → conjunto de baterias electroquímicas

CTCE → conjunto de conversores do tipo de corrente eléctrica, que é uma parte do conjunto de barramentos e conversores de energia eléctrica (BCEE)

CSP1 → 'carga-de-sistema' primária de índice 1, a qual corresponde ao sistema consumidor eléctrico externo (SCEE) de área local, que é constituído pelo projecto de luz (PL)

REE → rede eléctrica exterior, que pode corresponder a um sistema consumidor eléctrico externo (SCEE) de área alargada, ou a um sistema produtor eléctrico externo
 E_EÓL → recurso de energia eólica
 E_SLR → recurso de energia solar
 E_HDC → recurso de energia hídrica (fluvial)
 GHE → gerador hidro-eléctrico
 CSDBA → 'carga-de-sistema' diferida para bombeamento de água

8.2.1 - Caracterização dos recursos energéticos

As imagens das janelas do programa "HOMER" estão na parte 1 do anexo 1 (A1.1).

O recurso energético solar e o recurso energético eólico têm as mesmas características que os do sub-capítulo 8.1.

Para o recurso energético hídrico, considerou-se os dados para um aproveitamento de baixa queda, em que os dados do caudal da corrente-de-água (CCA) são fictícios para um pequeno curso de água, os quais são apresentados na tabela 8.11. O caudal ecológico (que também se pode designar por fluxo residual) é considerado nulo.

NM	CCA_MM	NM	CCA_MM	NM	CCA_MM	NM	CCA_MM
1	10	4	6	7	2	10	4
2	8	5	5	8	1	11	6
3	7	6	3	9	2	12	8

Tabela 8.11: Dados do caudal da corrente-de-água, em valor médio mensal

Legenda:

NM → número do mês

CCA_MM → caudal da corrente-de-água, em valor médio mensal, expresso em [l/s]

O valor médio anual do caudal da corrente-de-água é 5,15 [l/s].

8.2.2 - Caracterização dos componentes de sistema energético fornecedor de electricidade

As imagens das janelas do programa "HOMER" estão na parte 2 do anexo 1 (A1.2).

Os componentes gerador 'solar-foto-eléctrico', gerador 'eolo-eléctrico', conjunto de baterias electroquímicas, e conjunto de conversores do tipo de corrente eléctrica têm características iguais às que estão apresentadas no sub-capítulo 8.1.

A rede eléctrica exterior pode funcionar como um fornecedor de electricidade para a 'carga-de-sistema' primária de índice 1 e para o conjunto de baterias electroquímicas, quando há possibilidade de comprar electricidade. A capacidade de compra de electricidade à rede, em valor máximo definido, é 0,1 [kW]. Existem emissões de substâncias poluentes na produção de electricidade que é comprada à rede.

A tarifa (que também se pode designar por taxa) definida para a compra de electricidade é apenas uma tarifa para todos os períodos de tempo e tem o valor de 0,10 [€/kW.h].

Para gerador hidro-eléctrico, os valores económicos estimados, que incluem os trabalhos de engenharia civil e todos os custos associados ao sistema hidro-eléctrico, são:

- custo de capital inicial no investimento: 10.000 [€];
- custo de substituição (do equipamento): 7.500 [€];
- custo de operação e manutenção: 250 [€/ano].

O tempo de existência do gerador hidro-eléctrico é 30 anos.

Foi considerada uma altura de queda disponível com 12 [m], e uma taxa de caudal de projecto com 2 [l/s], o que permite ter um gerador hidro-eléctrico com a potência nominal de 0,177 [kW]. A saída de corrente eléctrica é em corrente alternada. O rácio de caudal é 5 [%] no mínimo e é 125 [%] no máximo. O rendimento energético (que também se pode designar por eficiência) do gerador hidro-eléctrico é 75 [%].

O valor de perdas energéticas, no topo do tubo de admissão de água, é 0 [%].

É possível simular sistemas energéticos em que o gerador hidro-eléctrico está incluído ou não.

8.2.3 - Caracterização do sistema consumidor de energia eléctrica

As imagens das janelas do programa "HOMER" estão na parte 3 do anexo 1 (A1.3) e na parte 2 do anexo 1 (A1.2).

A 'carga-de-sistema' primária de índice 1 tem as mesmas características que a do sub-capítulo 8.1.

A 'carga-de-sistema' diferida para bombeamento de água é constituída por uma electrobomba de água com a potência máxima de consumo eléctrico de 1 [kW] em corrente alternada, e por um reservatório de água com a capacidade de armazenamento correspondente a 20 [kW.h].

O consumo eléctrico da 'carga-de-sistema' diferida para bombeamento de água, em valor médio mensal da quantidade de energia diária é 4 [kW.h/d] para todos os meses do ano.

Essa 'carga-de-sistema' é diferível, ou seja, ajustável no tempo, durante um dia, o que permite que seja alimentada em períodos de menor consumo eléctrico.

A rede eléctrica exterior pode funcionar como um sistema consumidor eléctrico externo de área alargada para consumir os excessos de electricidade produzida pelo gerador

'solar-foto-eléctrico' e-ou pelo gerador 'eolo-eléctrico' a qual não pode ser utilizada pela 'carga-de-sistema' primária de índice 1 nem pelo conjunto de baterias electroquímicas.

A capacidade de venda de electricidade à rede é 1.000 [kW].

A tarifa (que também se pode designar por taxa) definida para a venda de electricidade é 0,05 [€/kW.h]) em qualquer período de consumo eléctrico.

8.2.4 - Definição de parâmetros gerais do sistema energético

As imagens das janelas do programa "HOMER" estão na parte 4 do anexo 1 (A1.4).

Considerou-se os mesmos dados que os do sub-capítulo 8.1, para os parâmetros de:

- economia do sistema energético;
- controlo de sistema;
- extensão da rede eléctrica;
- emissões de substâncias poluentes.

Na janela de introdução de dados para restrições de praticabilidade dos sistemas, o encurtamento máximo de capacidade (produtiva) anual foi considerado para uma situação com o valor de 0 [%], e este parâmetro corresponde à quantidade de energia eléctrica não-fornecida.

A fracção mínima de energia renovável é 50 [%], para a produção de electricidade.

A reserva 'operante' (que também se pode designar por girante) é definida:

- como percentagem da carga-de-sistema:
 - carga-de-sistema horária: 10 [%];
 - carga-de-sistema máxima anual: 0 [%].
- como percentagem da saída de electricidade proveniente de energia renovável:
 - saída de electricidade proveniente de energia solar: 20 [%];
 - saída de electricidade proveniente de energia eólica: 40 [%].

8.2.5 - Selecção da melhor configuração do sistema energético em várias situações

As imagens das janelas do programa "HOMER" estão na parte 5 do anexo 1 (A1.5).

Para os seis projectos de sistema energético simulados que correspondem a seis situações particulares na introdução de dados, obteve-se os respectivos relatórios de optimização que se apresentam na tabela 8.12.

NPSE	CPSE	NSS	NSP	NSNP	NSNP1	NSNP2	NSNS	TCS	VPS
1	C1-1_SLRE	480	400	80	80	0	1.568	0:00:08	60,0
2	C1-2_CLRE	480	400	80	80	0	1.568	0:00:19	25,3
3	C1-3_CLRE	1.260	1.126	134	134	0	2.836	0:00:54	23,3
4	C2-1_SLRE	8.956	8.188	768	768	0	7.428	0:02:57	50,6
5	C2-2_CLRE	8.956	8.188	768	768	0	7.428	0:06:55	21,6
6	C2-3_CLRE	21.058	19.314	1.744	1.744	0	11.710	0:16:08	21,8

Tabela 8.12: Relatórios de optimização dos projectos de sistema energético da 1ª expansão

Legenda:

[Igual à do sub-capítulo 8.1.]

A melhor configuração de sistema energético para cada projecto tem uma determinada arquitectura de sistema que consiste no conjunto de componentes do sistema energético com os seus tamanhos definidos, conforme se pode verificar na tabela 8.13.

NPSE	CPSE	Componentes											ED	TSHE
		CGEE		GSFE		GHE		CBEQ		CVCA	CVAC	REE		
		QD	PT	PT	QD	PT	QD	QD	QET	PT	PT	PT		
		[UD]	[kW]	[kW]	[UD]	[kW]	[UD]	[UD]	[kW.h]	[kW]	[kW]	[kW]		
1	C1-1_SLRE	4	5,600	0,000	0	0,177	1	-----	-----	0,000	0,000	-----	CCB	Híbrido
2	C1-2_CLRE	4	5,600	0,000	0	0,177	1	-----	-----	0,000	0,000	0,000	CCB	Híbrido
3	C1-3_CLRE	0	0,000	0,448	8	0,177	1	-----	-----	0,250	0,188	0,100	CCB	Híbrido
4	C2-1_SLRE	1	1,400	0,560	10	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	-----	CCB	Híbrido
5	C2-2_CLRE	1	1,400	0,560	10	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	0,000	CCB	Híbrido
6	C2-3_CLRE	1	1,400	0,112	2	0,000	0	2	2,640	0,150	0,113	0,100	SCS	Híbrido

Tabela 8.13: Arquitecturas de sistema das melhores configurações para os projectos de sistema energético da 1ª expansão

Legenda:

[Igual à do sub-capítulo 8.1.]

GHE → gerador hidro-eléctrico

Os custos principais da melhor configuração de sistema energético para cada projecto são mostrados na seguinte tabela 8.14.

NPSE	CPSE	CTCI	CT_TEP_VAL	CNE	CCA	CSA	CFMA	CTA
		[€]	[€]	[€/kW.h]	[€/ano]	[€/ano]	[€/ano]	[€/ano]
1	C1-1_SLRE	32.000,00	40.437,00	1,871	2.998,00	140,00	650,00	3.788,00
2	C1-2_CLRE	32.000,00	33.868,00	1,567	2.998,00	140,00	35,00	3.173,00
3	C1-3_CLRE	12.665,00	15.702,00	0,726	1.186,00	16,90	268,00	1.471,00
4	C2-1_SLRE	9.553,00	12.751,00	0,590	895,00	119,00	181,00	1.194,00
5	C2-2_CLRE	9.553,00	11.779,00	0,545	895,00	119,00	89,00	1.103,00
6	C2-3_CLRE	6.676,00	8.253,00	0,382	625,00	73,20	75,00	773,00

Tabela 8.14: Custos principais das melhores configurações para os projectos de sistema energético da 1ª expansão

Legenda:

[Igual à do sub-capítulo 8.1.]

O balanço energético entre os componentes de produção de electricidade e os componentes de consumo de electricidade (que também se podem designar por 'cargas-de-sistema') é apresentado no seguinte quadro 8.2 para cada projecto de sistema energético.

NPSE	Produção eléctrica			Consumo eléctrico		
	Componente	QPA	FT	Componente	QCA	FT
		[kW.h/ano]	[%]		[kW.h/ano]	[%]
1	CGEE	12.562	87,7	CSP1	565	27,9
	GHE	1.770	12,3	CSDBA	1.460	72,1
	Total	14.332	100,0	Total	2.025	100,0
2	CGEE	12.562	87,7	CSP1	565	3,9
	GHE	1.770	12,3	CSDBA	1.460	10,2
	REE	0	0,0	REE	12.307	85,9
	Total	14.332	100,0	Total	14.332	100,0
3	GSFE	760	29,9	CSP1	566	23,6
	GHE	1.770	69,6	CSDBA	1.459	60,9
	REE	12	0,5	REE	369	15,4
	Total	2.542	100,0	Total	2.394	100,0
4	GSFE	950	23,2	CSP1	565	27,9
	CGEE	3.140	76,8	CSDBA	1.460	72,1
	Total	4.090	100,0	Total	2.025	100,0
5	GSFE	950	23,2	CSP1	565	14,7
	CGEE	3.140	76,8	CSDBA	1.460	38,0
	REE	0	0,0	REE	1.821	47,3
	Total	4.090	100,0	Total	3.846	100,0
6	GSFE	190	5,5	CSP1	565	16,6
	CGEE	3.140	91,4	CSDBA	1.460	42,8
	REE	107	3,1	REE	1.385	40,6
	Total	3.437	100,0	Total	3.410	100,0

Quadro 8.2: Balanços energéticos das melhores configurações para os projectos de sistema energético da 1ª expansão

Legenda:

[Igual à do sub-capítulo 8.1.]

Para cada projecto de sistema energético, obteve-se parâmetros de saldo energético que são mostrados na tabela 8.15.

NPSE	CPSE	QPAT	QCAT	DT_PE_CE	F_ER_PE	Q1	Q2	Q3	F1	F2	F3
		[kW.h/ano]	[kW.h/ano]	[kW.h/ano]	[%]	[kW.h/ano]	[kW.h/ano]	[kW.h/ano]	[%]	[%]	[%]
1	C1-1_SLRE	14.332	2.025	12.307	100,0	12.307	1	2	85,9	0,0	0,1
2	C1-2_CLRE	14.332	14.332	0	100,0	0	1	2	0,0	0,0	0,0
3	C1-3_CLRE	2.542	2.394	148	99,5	81	0	0	3,2	0,0	0,0
4	C2-1_SLRE	4.090	2.025	2.065	100,0	1.969	0	0	48,1	0,0	0,0
5	C2-2_CLRE	4.090	3.846	244	100,0	118	0	0	2,9	0,0	0,0
6	C2-3_CLRE	3.437	3.410	27	96,9	0	1	2	0,0	0,0	0,1

Tabela 8.15: Parâmetros de saldo energético das melhores configurações para os projectos de sistema energético da 1ª expansão

Legenda:

[Igual à do sub-capítulo 8.1.]

A comparação do custo de electrificação entre um sistema energético isolado e um sistema energético ligado à rede é feita com base na distância máxima de extensão da rede até à qual o sistema energético ligado à rede tem menor custo.

A distância máxima de extensão da rede eléctrica, que resulta da simulação, é para:

- 1º projecto «C1-1_SLRE»: 3,83 [km];
- 4º projecto «C2-1_SLRE»: 0,979 [km].

Nos seis projectos de sistema energético, o tempo de cálculo das simulações varia entre o tempo mais breve de 8 [seg] e o tempo mais demorado de 16 [min] e 8 [seg], tal como se pode conferir na tabela 8.12.

O tipo de sistema energético da melhor configuração, relativamente à 'hibridização' da entrada de energia no sistema, é híbrido para todos os seis projectos de sistema energético, conforme se pode verificar na tabela 8.13, porque existe pelo menos duas formas-de-energia que entram em cada sistema energético.

A arquitectura de sistema, da melhor configuração para o 1º projecto de sistema energético, tem quatro geradores 'eolo-eléctricos' com potência total de 5.600 [W], um gerador hidro-eléctrico com potência de 177 [W], e não tem conversores do tipo de corrente eléctrica nem ligação à rede eléctrica exterior. Se houver ligação à rede eléctrica exterior só para vender electricidade, então a arquitectura de sistema mantém-se a mesma, tal como se verifica no 2º projecto de sistema energético. Se for possível comprar e vender electricidade à rede eléctrica exterior, então a arquitectura de sistema modifica-se e tem-se, no 3º projecto de sistema energético, nenhum gerador 'eolo-eléctrico', um gerador 'solar-foto-eléctrico' com a potência total de 448 [W] que corresponde a 8 painéis fotovoltaicos com 56 [W] cada, um gerador hidro-eléctrico com potência de 177 [W], e alguns conversores do tipo de corrente eléctrica.

O 4º projecto de sistema energético tem um gerador 'eolo-eléctrico' com potência de 1.400 [W], um gerador 'solar-foto-eléctrico' com a potência total de 560 [W] que corresponde a 10 painéis fotovoltaicos de 56 [W], um conjunto de baterias electroquímicas com 4 baterias que permitem ter uma quantidade de energia total armazenável de 5.280 [W.h], e a potência total do conjunto de conversores do tipo de corrente eléctrica é igual à do 3º projecto de sistema energético. Caso haja ligação à rede eléctrica exterior em que só é possível vender electricidade, existe por consequência uma alteração na arquitectura de sistema havendo uma diminuição do número de painéis fotovoltaicos de 10 para 2, uma redução do número de baterias electroquímicas de 4 para 2 e uma diminuição na potência total do conjunto de conversores do tipo de corrente eléctrica.

A estratégia de despacho é carregamento de ciclo de armazenamento do conjunto de baterias electroquímicas para os projectos de sistema energético de 1 a 5, e é seguimento da carga-de-sistema para o 6º projecto de sistema energético.

O custo total de capital inicial varia entre 6.676,00 [€] e 32.000,00 [€], que se pode comprovar na tabela 8.14, e este custo diminui para o menor valor quando é possível ligar à rede eléctrica exterior para compra e venda de electricidade.

O custo total, durante o tempo de existência do projecto, em valor actual líquido diminui desde o valor 40.437,00 [€] no 1º projecto de sistema energético até ao valor 8.253,00 [€] no 6º projecto de sistema energético, e o custo 'nivelado' de electricidade tem a mesma evolução o qual diminui desde 1,87 [€/kW.h] no 1º projecto de sistema energético até 0,38 [€/kW.h] no 6º projecto de sistema energético.

O projecto de sistema energético com o melhor resultado nos custos principais é o projecto 6 «C2-3_CLRE».

Nos projectos de sistema energético 1 e 4 que não têm ligação à rede eléctrica exterior, a produção eléctrica anual é superior ao consumo eléctrico anual, o que implica que o desperdício de

electricidade seja elevado e maior do que o consumo eléctrico anual, tal como se pode verificar no quadro 8.2 e na tabela 8.15. No caso dos outros projectos de sistema energético com ligação à rede eléctrica exterior, o consumo eléctrico anual é superior à electricidade desperdiçada por ano, sendo o desperdício anual de electricidade nulo ou reduzido.

Nos projectos de sistema energético 3 e 6, a fracção de energia renovável na produção eléctrica é menor do que 100 [%], porque existe compra de alguma electricidade à rede eléctrica exterior em que se pressupõe que essa electricidade não é só proveniente de energia renovável.

A quantidade de energia eléctrica do encurtamento de capacidade produtiva (Q3) e a quantidade de energia eléctrica requerida pela 'carga-de-sistema' que não foi encontrada na produção eléctrica (Q2) têm valores nulos ou próximos de zero, porque se considerou a restrição do encurtamento máximo de capacidade produtiva anual com o valor de 0 [%].

A distância máxima de extensão da rede eléctrica, no 1º projecto de sistema energético, é 3.830 [m], e no 4º projecto de sistema energético, é 979 [m] a qual é 3 a 4 vezes menor do que a do 1º projecto, porque os custos principais do 4º projecto são 3 a 4 vezes menores do que os do 1º projecto.

8.3 - Estudo de sensibilidade para o SEH existente no edifício J da FEUP

As imagens das janelas do programa "HOMER" estão na parte 6 do anexo 1 (A1.6).

Para o estudo de sensibilidade, foram seleccionados dois projectos de sistema energético do sub-capítulo 8.1 cujos códigos são «C2-1_SLRE_1» e «C2-2_CLRE_2», em que o primeiro projecto não tem ligação à rede eléctrica exterior e o segundo projecto tem a possibilidade de ligação à rede eléctrica exterior para a compra e a venda de electricidade. Em ambos os projectos de sistema energético, o encurtamento máximo de capacidade produtiva anual tem o valor de 5 [%]. Os recursos energéticos considerados nesses projectos são o recurso de energia solar e o recurso de energia eólica, para os quais foram definidos os seguintes valores de sensibilidade:

- a intensidade de radiação solar global diária, em valor médio anual (IRSGD_MA): { 2,25; 4,50; 6,75 } [kW.h/m²/d];
- a velocidade do vento, em valor médio anual (VV_MA): { 3,00; 6,06; 9,00 } [m/s].

Após a realização do cálculo de simulação para os dois projectos seleccionados do SEH existente, obteve-se a tabela 8.16 que contém os dados e os resultados desse cálculo na análise de sensibilidade. O número de sequências de valores dos parâmetros de sensibilidade (N_SSB) é 9 (=3 × 3) e é igual para os dois projectos, enquanto que o número de simulações (N_SML) do segundo projecto é o dobro do primeiro projecto. O número de soluções simuladas (NSS) do segundo projecto é um pouco menos do dobro do primeiro projecto, mas o tempo de cálculo das simulações (TCS) com sensibilidades é cerca de 4,5 vezes maior no segundo projecto do que no primeiro projecto.

NLT	CPSE	N_SML	N_SSB	NTS	NSNS	NSS	NSNP	NSP	TCS
1	C2-1_SLRE_1	8.192	9	97.968	32.869	65.099	8.586	56.513	0:22:17
2	C2-2_CLRE_2	16.384	9	147.584	32.386	115.198	8.039	107.159	1:32:54

Tabela 8.16: Dados e resultados de realização do cálculo de simulação na análise de sensibilidade para os projectos do SEH existente

Legenda:

[Uma parte da legenda é igual à da tabela 8.5.]

NLT → número da linha na tabela

N_SML → número de simulações possíveis em função dos tamanhos considerados para os componentes de sistema energético

N_SSB → número de sequências de sensibilidade, que resulta da combinação entre os valores dos parâmetros de sensibilidade

NTS → número total de soluções

Para o primeiro projecto seleccionado do SEH existente com o código «C2-1_SLRE_1», apresenta-se as seguintes tabelas 8.17 e 8.18 com as características das melhores configurações na análise de sensibilidade.

NLT	IRSGD_MA [kW.h/m ² /d]	VV_MA [m/s]	Componentes								ED	TSHE
			CGEE		GSFE		CBEQ		CVCA	CVAC		
			QD	PT	PT	QD	QD	QET	PT	PT		
			[UD]	[kW]	[kW]	[UD]	[UD]	[kW.h]	[kW]	[kW]		
1	2,25	3,00	1	1,400	0,448	8	8	10,560	0,500	0,375	CCB	Híbrido
2	4,50	3,00	1	1,400	0,224	4	6	7,920	0,250	0,188	CCB	Híbrido
3	6,75	3,00	0	0,000	1,120	20	8	10,560	0,250	0,188	CCB	Simples
4	2,25	6,06	1	1,400	0,000	0	2	2,640	0,150	0,113	CCB	Simples
5	4,50	6,06	1	1,400	0,000	0	2	2,640	0,150	0,113	CCB	Simples
6	6,75	6,06	1	1,400	0,000	0	2	2,640	0,150	0,113	CCB	Simples
7	2,25	9,00	1	1,400	0,000	0	1	1,320	0,150	0,113	CCB	Simples
8	4,50	9,00	1	1,400	0,000	0	1	1,320	0,150	0,113	CCB	Simples
9	6,75	9,00	1	1,400	0,000	0	1	1,320	0,150	0,113	CCB	Simples

Tabela 8.17: Arquitecturas de sistema das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH existente com o código «C2-1_SLRE_1»

Legenda:

[É igual à legenda da tabela 8.6.]

NLT	IRSGD_MA	VV_MA	CTCI	CT_TEP_VAL	CNE	F_ER_PE	PECPA
	[kW.h/m ² /d]	[m/s]	[€]	[€]	[€/kW.h]	[%]	[%]
1	2,25	3,00	10.077,00	14.310,00	2,453	100,0	4,0
2	4,50	3,00	8.189,00	11.480,00	1,979	100,0	5,0
3	6,75	3,00	7.793,00	11.270,00	1,905	100,0	2,0
4	2,25	6,06	6.088,00	8.191,00	1,392	100,0	4,0
5	4,50	6,06	6.088,00	8.191,00	1,392	100,0	4,0
6	6,75	6,06	6.088,00	8.191,00	1,392	100,0	4,0
7	2,25	9,00	5.888,00	7.761,00	1,331	100,0	5,0
8	4,50	9,00	5.888,00	7.761,00	1,331	100,0	5,0
9	6,75	9,00	5.888,00	7.761,00	1,331	100,0	5,0

Tabela 8.18: Custos principais e parâmetros de restrições das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH existente com o código «C2-1_SLRE_1»

Legenda:

[Uma parte da legenda é igual à da tabela 8.7 e à da tabela 8.8.]

PECPA → percentagem do encurtamento de capacidade produtiva anual, expressa em [%]

No projecto «C2-1_SLRE_1», existem três tipos de sistema energético óptimo que resultam da análise de sensibilidade aos parâmetros de recursos energéticos. Para a velocidade do vento, em valor médio anual (VV_MA), maior do que 5,8 [m/s], o tipo de sistema energético óptimo é {CGEE; CBEQ}, e se a VV_MA for menor do que 5,8 [m/s] e maior do que 3,25 [m/s], então o tipo de sistema energético óptimo é {CGEE; GSFE; CBEQ}. Caso a VV_MA seja menor do que 3,25 [m/s] e a intensidade de radiação solar global diária, em valor médio anual (IRSGD_MA), seja maior do que 6 [kW.h/m²/d], então o tipo de sistema energético óptimo é {GSFE; CBEQ}, e no caso de IRSGD_MA ser menor do que 6 [kW.h/m²/d] então o tipo de sistema energético óptimo é {CGEE; GSFE; CBEQ}.

O custo total de capital inicial (CTCI) varia entre 5.888,00 [€] e 10.077,00 [€], e o custo total, durante o tempo de existência do projecto, em valor actual líquido tem uma evolução semelhante mas superior ao CTCI em todas as sequências de valores de sensibilidade. O custo 'nivelado' de electricidade varia entre 1,33 [€/kW.h] e 2,45 [€/kW.h], o qual é elevado na comparação com a tarifa de compra de electricidade à rede eléctrica exterior que pode variar 0,05 [€/kW.h] e 0,15 [€/kW.h]. No entanto, a fracção de energia renovável na produção eléctrica é 100 [%] em todas as sequências de valores de sensibilidade.

Para o segundo projecto seleccionado do SEH existente com o código «C2-2_CLRE_2», apresenta-se as seguintes tabelas 8.19 e 8.20 com as características das melhores configurações na análise de sensibilidade.

NLT	IRSGD_MA	VV_MA	Componentes									ED	TSHE
			CGEE		GSFE		CBEQ		CVCA	CVAC	REE		
			QD	PT	PT	QD	QD	QET	PT	PT	PT		
	[kW.h/m ² /d]	[m/s]	[UD]	[kW]	[kW]	[UD]	[UD]	[kW.h]	[kW]	[kW]	[kW]		
1	2,25	3,00	0	0,000	0,560	10	4	5,280	0,100	0,075	0,100	SCS	Híbrido
2	4,50	3,00	0	0,000	0,336	6	2	2,640	0,100	0,075	0,100	SCS	Híbrido
3	6,75	3,00	0	0,000	0,224	4	2	2,640	0,100	0,075	0,100	SCS	Híbrido
4	2,25	6,06	0	0,000	0,560	10	4	5,280	0,100	0,075	0,100	SCS	Híbrido
5	4,50	6,06	0	0,000	0,336	6	2	2,640	0,100	0,075	0,100	SCS	Híbrido
6	6,75	6,06	0	0,000	0,224	4	2	2,640	0,100	0,075	0,100	SCS	Híbrido
7	2,25	9,00	1	1,400	0,000	0	0	0,000	0,050	0,038	0,100	CCB	Híbrido
8	4,50	9,00	0	0,000	0,336	6	2	2,640	0,100	0,075	0,100	SCS	Híbrido
9	6,75	9,00	0	0,000	0,224	4	2	2,640	0,100	0,075	0,100	SCS	Híbrido

Tabela 8.19: Arquitecturas de sistema das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH existente com o código «C2-2_CLRE_2»

Legenda:

[É igual à legenda da tabela 8.6.]

NLT	IRSGD_MA	VV_MA	CTCI	CT_TEP_VAL	CNE	F_ER_PE	PECPA
	[kW.h/m ² /d]	[m/s]	[€]	[€]	[€/kW.h]	[%]	[%]
1	2,25	3,00	3.865,00	5.717,00	0,980	51,0	5,0
2	4,50	3,00	2.289,00	3.561,00	0,609	59,0	4,0
3	6,75	3,00	1.701,00	2.881,00	0,491	54,0	4,0
4	2,25	6,06	3.865,00	5.717,00	0,980	51,0	5,0
5	4,50	6,06	2.289,00	3.561,00	0,609	59,0	4,0
6	6,75	6,06	1.701,00	2.881,00	0,491	54,0	4,0
7	2,25	9,00	5.563,00	3.760,00	0,637	99,0	4,0
8	4,50	9,00	2.289,00	3.561,00	0,609	59,0	4,0
9	6,75	9,00	1.701,00	2.881,00	0,491	54,0	4,0

Tabela 8.20: Custos principais e parâmetros de restrições das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH existente com o código «C2-2_CLRE_2»

Legenda:

[É igual à legenda da tabela 8.18.]

Na análise de sensibilidade do projecto «C2-2_CLRE_2», também se obtém três tipos de sistema energético óptimo. O tipo de sistema {REE; GSFE; CBEQ} é o mais frequente nos resultados obtidos. Para a velocidade do vento, em valor médio anual (VV_MA), superior ou igual a 8,9 [m/s] e a intensidade de radiação solar global diária, em valor médio anual (IRSGD_MA), menor do que 4,3 [kW.h/m²/d], o tipo de sistema energético óptimo é {REE; CGEE}. No caso da VV_MA pertencer a [6,2; 8,9] [m/s] e a IRSGD_MA diminuir de 4,3 [kW.h/m²/d] até 2,25 [kW.h/m²/d] com a diminuição de VV_MA, então o tipo de sistema energético óptimo é {REE; CGEE; CBEQ}.

O custo total de capital inicial (CTCI) varia entre 1.701,00 [€] e 5.563,00 [€], e o custo total, durante o tempo de existência do projecto, em valor actual líquido é maior do que o CTCI em quase todas as sequências de valores de sensibilidade, excepto no caso da IRSGD_MA ser igual a 2,25 [kW.h/m²/d] e da VV_MA ser igual a 9 [m/s], porque a remuneração da venda de electricidade à rede eléctrica exterior permite retornar uma parte do custo de capital inicial investido. O custo 'nivelado' de electricidade varia entre 0,49 [€/kW.h] e 0,98 [€/kW.h]. A fracção de energia renovável na produção eléctrica varia entre 51 [%] e 59 [%] na maior parte dos resultados, excepto no caso da IRSGD_MA ser igual a 2,25 [kW.h/m²/d] e a VV_MA ser igual a 9 [m/s], que tem o valor de 99 [%].

8.4 - Estudo de sensibilidade para o SEH da primeira expansão

As imagens das janelas do programa "HOMER" estão na parte 6 do anexo 1 (A1.6).

Neste estudo de sensibilidade, seleccionou-se dois projectos de sistema energético do sub-capítulo 8.2 que têm os códigos «C2-1_SLRE» e «C2-3_CLRE». O primeiro projecto não tem ligação à rede eléctrica exterior e o segundo projecto tem a possibilidade de ligação à rede eléctrica exterior para a venda de electricidade e para a compra de electricidade até 150 [W]. Em ambos os projectos de sistema energético, o encurtamento máximo de capacidade produtiva anual tem o valor de 0 [%]. Para os recursos de energia solar e de energia eólica, foram definidos os mesmos valores de sensibilidade como no sub-capítulo 8.3. Para o recurso de energia hídrica, definiu-se os valores de sensibilidade do caudal da corrente-de-água, em valor médio anual (CCA_MA), que são { 2,50; 5,15; 7,50} [l/s].

No cálculo de simulação para os dois projectos seleccionados do SEH da primeira expansão, o número de sequências de valores dos parâmetros de sensibilidade (N_SSB) é 27 (=3 × 3 × 3) nos dois projectos, e o número de simulações (N_SML) do segundo projecto é o triplo do primeiro projecto. O número total de soluções (NTS) do segundo projecto é aproximadamente o triplo do primeiro projecto, mas o tempo de cálculo das simulações (TCS) com sensibilidades é cerca de 10 vezes maior no segundo projecto do que no primeiro projecto, conforme se verifica na tabela 8.21.

NLT	CPSE	N_SML	N_SSB	NTS	NSNS	NSS	NSNP	NSP	TCS
1	C2-1_SLRE	16.384	27	442.368	217.440	224.928	22.960	201.968	1:12:34
2	C2-3_CLRE	49.152	27	1.329.408	508.856	820.552	51.328	769.224	10:53:29

Tabela 8.21: Dados e resultados de realização do cálculo de simulação na análise de sensibilidade para os projectos do SEH da primeira expansão

Legenda:

[É igual à legenda da tabela 8.16.]

Para o primeiro projecto seleccionado do SEH da primeira expansão com o código «C2-1_SLRE», apresenta-se as seguintes tabelas 8.22 e 8.23 com as características das melhores configurações na análise de sensibilidade.

NLT	IRSGD_MA	VV_MA	CCA_MA	Componentes										ED	TSHE
				CGEE		GSFE		GHE		CBEQ		CVCA	CVAC		
				QD	PT	PT	QD	PT	QD	QD	QET	PT	PT		
	[kW.h/m ² /d]	[m/s]	[l/s]	[UD]	[kW]	[kW]	[UD]	[kW]	[UD]	[UD]	[kW.h]	[kW]	[kW]		
1	2,25	3,00	2,50	1	1,400	1,120	20	0,177	1	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Híbrido
2	4,50	3,00	2,50	0	0,000	1,120	20	0,177	1	4	5,280	0,500	0,375	CCB	Híbrido
3	6,75	3,00	2,50	0	0,000	1,120	20	0,177	1	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Híbrido
4	2,25	6,06	2,50	1	1,400	0,560	10	0,000	0	8	10,560	0,250	0,188	CCB	Híbrido
5	4,50	6,06	2,50	1	1,400	0,560	10	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Híbrido
6	6,75	6,06	2,50	1	1,400	0,448	8	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Híbrido
7	2,25	9,00	2,50	1	1,400	0,000	0	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Simples
8	4,50	9,00	2,50	1	1,400	0,000	0	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Simples
9	6,75	9,00	2,50	1	1,400	0,000	0	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Simples
10	2,25	3,00	5,20	0	0,000	1,120	20	0,177	1	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Híbrido
11	4,50	3,00	5,20	0	0,000	0,560	10	0,177	1	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Híbrido
12	6,75	3,00	5,20	0	0,000	0,560	10	0,177	1	2	2,640	0,250	0,188	CCB	Híbrido
13	2,25	6,06	5,20	1	1,400	0,560	10	0,000	0	8	10,560	0,250	0,188	CCB	Híbrido
14	4,50	6,06	5,20	1	1,400	0,560	10	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Híbrido
15	6,75	6,06	5,20	1	1,400	0,448	8	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Híbrido
16	2,25	9,00	5,20	1	1,400	0,000	0	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Simples
17	4,50	9,00	5,20	1	1,400	0,000	0	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Simples
18	6,75	9,00	5,20	1	1,400	0,000	0	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Simples
19	2,25	3,00	7,50	0	0,000	0,560	10	0,177	1	4	5,280	0,150	0,113	CCB	Híbrido
20	4,50	3,00	7,50	0	0,000	0,448	8	0,177	1	1	1,320	0,150	0,113	CCB	Híbrido
21	6,75	3,00	7,50	0	0,000	0,336	6	0,177	1	1	1,320	0,150	0,113	CCB	Híbrido
22	2,25	6,06	7,50	1	1,400	0,560	10	0,000	0	8	10,560	0,250	0,188	CCB	Híbrido
23	4,50	6,06	7,50	1	1,400	0,560	10	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Híbrido
24	6,75	6,06	7,50	1	1,400	0,448	8	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Híbrido
25	2,25	9,00	7,50	1	1,400	0,000	0	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Simples
26	4,50	9,00	7,50	1	1,400	0,000	0	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Simples
27	6,75	9,00	7,50	1	1,400	0,000	0	0,000	0	4	5,280	0,250	0,188	CCB	Simples

Tabela 8.22: Arquitecturas de sistema das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH da primeira expansão com o código «C2-1_SLRE»

Legenda:

[É igual à legenda da tabela 8.6.]

NLT	IRSGD_MA [kW.h/m ² /d]	VV_MA [m/s]	CCA_MA [l/s]	CTCI [€]	CT_TEP_VAL [€]	CNE [€/kW.h]	F_ER_PE [%]
1	2,25	3,00	2,50	22.493,00	28.740,00	1,329	100,0
2	4,50	3,00	2,50	17.305,00	22.350,00	1,034	100,0
3	6,75	3,00	2,50	16.993,00	21.753,00	1,006	100,0
4	2,25	6,06	2,50	10.353,00	14.413,00	0,667	100,0
5	4,50	6,06	2,50	9.553,00	12.751,00	0,590	100,0
6	6,75	6,06	2,50	8.965,00	12.050,00	0,557	100,0
7	2,25	9,00	2,50	6.613,00	9.247,00	0,428	100,0
8	4,50	9,00	2,50	6.613,00	9.247,00	0,428	100,0
9	6,75	9,00	2,50	6.613,00	9.247,00	0,428	100,0
10	2,25	3,00	5,20	16.993,00	21.753,00	1,006	100,0
11	4,50	3,00	5,20	14.053,00	18.249,00	0,844	100,0
12	6,75	3,00	5,20	13.653,00	17.418,00	0,806	100,0
13	2,25	6,06	5,20	10.353,00	14.413,00	0,667	100,0
14	4,50	6,06	5,20	9.553,00	12.751,00	0,590	100,0
15	6,75	6,06	5,20	8.965,00	12.050,00	0,557	100,0
16	2,25	9,00	5,20	6.613,00	9.247,00	0,428	100,0
17	4,50	9,00	5,20	6.613,00	9.247,00	0,428	100,0
18	6,75	9,00	5,20	6.613,00	9.247,00	0,428	100,0
19	2,25	3,00	7,50	13.928,00	18.010,00	0,838	100,0
20	4,50	3,00	7,50	12.740,00	16.063,00	0,743	100,0
21	6,75	3,00	7,50	12.152,00	15.362,00	0,711	100,0
22	2,25	6,06	7,50	10.353,00	14.413,00	0,667	100,0
23	4,50	6,06	7,50	9.553,00	12.751,00	0,590	100,0
24	6,75	6,06	7,50	8.965,00	12.050,00	0,557	100,0
25	2,25	9,00	7,50	6.613,00	9.247,00	0,428	100,0
26	4,50	9,00	7,50	6.613,00	9.247,00	0,428	100,0
27	6,75	9,00	7,50	6.613,00	9.247,00	0,428	100,0

Tabela 8.23: Custos principais e parâmetros de restrições das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH da primeira expansão com o código «C2-1_SLRE»

Legenda:

[É igual a uma parte da legenda da tabela 8.7 e a uma parte da legenda da tabela 8.8.]

Na análise de sensibilidade do projecto «C2-1_SLRE», os tipos de sistema energético óptimo em função do caudal da corrente-de-água, em valor médio anual (CCA_MA), são:

- para CCA_MA pertencente a { 2,50; 5,15 } [l/s]:
{CGEE; GSFE; CBEQ}, {CGEE; CBEQ}, {GHE; CGEE; GSFE; CBEQ},
{GHE; GSFE; CBEQ};
- para CCA_MA igual a 7,50 [l/s]:
{CGEE; GSFE; CBEQ}, {GHE; GSFE; CBEQ}, {CGEE; CBEQ}.

O tipo de sistema energético óptimo, que é escolhido para os valores próximos dos iniciais da intensidade de radiação solar global diária em valor médio anual (IRSGD_MA) e da velocidade do vento em valor médio anual (VV_MA), é {CGEE; GSFE; CBEQ} em qualquer valor do CCA_MA. O gerador hidro-eléctrico (GHE) é escolhido para o sistema energético óptimo quando a VV_MA é menor do que 5,5 [m/s].

O custo total de capital inicial (CTCI) varia entre 6.613,00 [€] e 22.493,00 [€], e o custo total, durante o tempo de existência do projecto, em valor actual líquido evolui de modo semelhante ao CTCI mas é maior do que o CTCI em todas as sequências de valores de sensibilidade. O custo 'nivelado' de electricidade varia entre 0,43 [€/kW.h] e 1,33 [€/kW.h], o qual é maior do que a tarifa de compra de electricidade à rede eléctrica exterior que pode variar 0,05 [€/kW.h] e 0,15 [€/kW.h]. Para todas as sequências de valores de sensibilidade, a fracção de energia renovável na produção eléctrica é 100 [%].

Para o segundo projecto seleccionado do SEH da primeira expansão com o código «C2-3_CLRE», apresenta-se as seguintes tabelas 8.24 e 8.25 com as características das melhores configurações na análise de sensibilidade.

NLT	IRSGD_MA	VV_MA	CCA_MA	Componentes											ED	TSHE
				CGEE		GSFE		GHE		CBEQ		CVCA	CVAC	REE		
				QD	PT	PT	QD	PT	QD	QD	QET	PT	PT	PT		
	[kW.h/m ² /d]	[m/s]	[l/s]	[UD]	[kW]	[kW]	[UD]	[kW]	[UD]	[UD]	[kW.h]	[kW]	[kW]	[kW]		
1	2,25	3,00	2,50	2	2,800	1,120	20	0,000	0	6	7,920	0,750	0,563	0,150	CCB	Híbrido
2	4,50	3,00	2,50	1	1,400	1,120	20	0,000	0	1	1,320	1,000	0,750	0,150	CCB	Híbrido
3	6,75	3,00	2,50	1	1,400	1,120	20	0,000	0	1	1,320	0,500	0,375	0,150	CCB	Híbrido
4	2,25	6,06	2,50	1	1,400	0,112	2	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
5	4,50	6,06	2,50	1	1,400	0,112	2	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
6	6,75	6,06	2,50	1	1,400	0,112	2	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
7	2,25	9,00	2,50	1	1,400	0,000	0	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
8	4,50	9,00	2,50	1	1,400	0,000	0	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
9	6,75	9,00	2,50	1	1,400	0,000	0	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
10	2,25	3,00	5,20	0	0,000	1,120	20	0,177	1	0	0,000	0,250	0,188	0,150	CCB	Híbrido
11	4,50	3,00	5,20	0	0,000	0,448	8	0,177	1	0	0,000	0,250	0,188	0,150	CCB	Híbrido
12	6,75	3,00	5,20	0	0,000	0,336	6	0,177	1	0	0,000	0,250	0,188	0,150	CCB	Híbrido
13	2,25	6,06	5,20	1	1,400	0,112	2	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
14	4,50	6,06	5,20	1	1,400	0,112	2	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
15	6,75	6,06	5,20	1	1,400	0,112	2	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
16	2,25	9,00	5,20	1	1,400	0,000	0	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
17	4,50	9,00	5,20	1	1,400	0,000	0	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
18	6,75	9,00	5,20	1	1,400	0,000	0	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
19	2,25	3,00	7,50	0	0,000	0,560	10	0,177	1	0	0,000	0,150	0,113	0,150	CCB	Híbrido
20	4,50	3,00	7,50	0	0,000	0,336	6	0,177	1	0	0,000	0,150	0,113	0,150	CCB	Híbrido
21	6,75	3,00	7,50	0	0,000	0,224	4	0,177	1	0	0,000	0,150	0,113	0,150	CCB	Híbrido
22	2,25	6,06	7,50	1	1,400	0,112	2	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
23	4,50	6,06	7,50	1	1,400	0,112	2	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
24	6,75	6,06	7,50	1	1,400	0,112	2	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
25	2,25	9,00	7,50	1	1,400	0,000	0	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
26	4,50	9,00	7,50	1	1,400	0,000	0	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido
27	6,75	9,00	7,50	1	1,400	0,000	0	0,000	0	1	1,320	0,050	0,038	0,150	CCB	Híbrido

Tabela 8.24: Arquitecturas de sistema das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH da primeira expansão com o código «C2-3_CLRE»

Legenda:

[É igual à legenda da tabela 8.6.]

NLT	IRSGD_MA [kW.h/m ² /d]	VV_MA [m/s]	CCA_MA [l/s]	CTCI [€]	CT_TEP_VAL [€]	CNE [€/kW.h]	F_ER_PE [%]
1	2,25	3,00	2,50	19.018,00	25.458,00	1,184	88,0
2	4,50	3,00	2,50	12.830,00	16.832,00	0,780	88,0
3	6,75	3,00	2,50	12.205,00	15.719,00	0,727	89,0
4	2,25	6,06	2,50	6.351,00	7.658,00	0,354	96,0
5	4,50	6,06	2,50	6.351,00	7.624,00	0,353	96,0
6	6,75	6,06	2,50	6.351,00	7.614,00	0,352	96,0
7	2,25	9,00	2,50	5.763,00	5.712,00	0,264	99,0
8	4,50	9,00	2,50	5.763,00	5.712,00	0,264	99,0
9	6,75	9,00	2,50	5.763,00	5.712,00	0,264	99,0
10	2,25	3,00	5,20	16.193,00	19.892,00	0,920	100,0
11	4,50	3,00	5,20	12.665,00	15.702,00	0,726	100,0
12	6,75	3,00	5,20	12.077,00	14.999,00	0,694	100,0
13	2,25	6,06	5,20	6.351,00	7.658,00	0,354	96,0
14	4,50	6,06	5,20	6.351,00	7.624,00	0,353	96,0
15	6,75	6,06	5,20	6.351,00	7.614,00	0,352	96,0
16	2,25	9,00	5,20	5.763,00	5.712,00	0,264	99,0
17	4,50	9,00	5,20	5.763,00	5.712,00	0,264	99,0
18	6,75	9,00	5,20	5.763,00	5.712,00	0,264	99,0
19	2,25	3,00	7,50	13.128,00	16.245,00	0,756	100,0
20	4,50	3,00	7,50	11.952,00	14.816,00	0,685	100,0
21	6,75	3,00	7,50	11.364,00	14.123,00	0,653	100,0
22	2,25	6,06	7,50	6.351,00	7.658,00	0,354	96,0
23	4,50	6,06	7,50	6.351,00	7.624,00	0,353	96,0
24	6,75	6,06	7,50	6.351,00	7.614,00	0,352	96,0
25	2,25	9,00	7,50	5.763,00	5.712,00	0,264	99,0
26	4,50	9,00	7,50	5.763,00	5.712,00	0,264	99,0
27	6,75	9,00	7,50	5.763,00	5.712,00	0,264	99,0

Tabela 8.25: Custos principais e parâmetros de restrições das melhores configurações na análise de sensibilidade para o projecto do SEH da primeira expansão com o código «C2-3_CLRE»

Legenda:

[É igual a uma parte da legenda da tabela 8.7 e a uma parte da legenda da tabela 8.8.]

Na análise de sensibilidade do projecto «C2-3_CLRE», obteve-se os seguintes tipos de sistema energético óptimo em função do caudal da corrente-de-água, em valor médio anual (CCA_MA):

- para CCA_MA igual a 2,50 [l/s]:
{REE; CGEE; GSFE; CBEQ}, {REE; CGEE; CBEQ};
- para CCA_MA pertencente a { 5,15; 7,50 } [l/s]:
{REE; CGEE; GSFE; CBEQ}, {REE; CGEE; CBEQ}, {REE; GHE; GSFE}.

Relativamente aos valores iniciais de referência da intensidade de radiação solar global diária em valor médio anual (IRSGD_MA) e da velocidade do vento em valor médio anual (VV_MA), pode haver uma grande variação destes parâmetros, na qual o tipo de sistema energético óptimo será {REE; CGEE; GSFE; CBEQ} para qualquer valor do CCA_MA. O gerador hidro-eléctrico é

escolhido para o sistema energético óptimo quando o CCA_MA é superior ou igual a 5,15 [l/s] e a VV_MA é menor do que 4,5 [m/s].

O custo total de capital inicial (CTCI) varia entre 5.763,00 [€] e 19.018,00 [€], e o custo total, durante o tempo de existência do projecto, em valor actual líquido é superior ao CTCI na maior parte das sequências de valores de sensibilidade, excepto no caso da VV_MA ser igual a 9 [m/s], porque existe uma remuneração da venda de electricidade à rede eléctrica exterior que permite recuperar uma parte do capital inicial investido. O custo 'nivelado' de electricidade (CNE) varia entre 0,26 [€/kW.h] e 1,18 [€/kW.h], sendo o valor mínimo do CNE bastante razoável em relação à tarifa de compra de electricidade à rede eléctrica exterior. A fracção de energia renovável na produção eléctrica varia entre 88 [%] e 100 [%].

8.5 - Conclusões

O primeiro sistema energético, que foi implementado no edifício J da FEUP, é constituído por um gerador 'eolo-eléctrico' com a potência de 1.400 [W], por um conjunto de baterias electroquímicas com 2 baterias cuja quantidade de energia total armazenável é 2.640 [W.h], e por alguns conversores do tipo de corrente eléctrica. No projecto de sistema energético «C1-1_GEE_1», confirma-se que o primeiro sistema energético implementado está bem dimensionado para um encurtamento máximo de capacidade produtiva anual no valor de 5 [%], mas se o valor deste parâmetro for 0 [%], então é necessário duplicar o número de baterias electroquímicas passando a ser 4 tal como se verifica no projecto «C1-1_GEE_2».

O segundo sistema energético, que foi implementado no edifício J da FEUP, é constituído por um gerador 'solar-foto-eléctrico' com a potência total de 112 [W], por um conversor de CC para CA e por uma ligação à rede eléctrica exterior. No projecto de sistema energético «C1-2_GSFE_1», verifica-se que o gerador 'solar-foto-eléctrico' com 112 [W] é insuficiente para alimentar a 'carga-de-sistema' primária de índice 1, e se tiver ligação à rede eléctrica exterior só para vender electricidade, então é preciso aumentar 10 vezes mais a potência total do gerador 'solar-foto-eléctrico' para 1.120 [W] que corresponde a 20 painéis fotovoltaicos de 56 [W], e aumentar 5 vezes mais o número de baterias electroquímicas para 10 baterias que corresponde a uma quantidade de energia total armazenável de 13.200 [W.h]. Se for possível comprar electricidade à rede eléctrica exterior até 100 [W], então só é preciso aumentar 3 vezes mais a potência total do gerador 'solar-foto-eléctrico' para o valor de 336 [W] que corresponde a 6 painéis fotovoltaicos de 56 [W], e manter o número de baterias electroquímicas tal como se pode confirmar no projecto «C1-2_GSFE_2».

No projecto de sistema energético «C2-1_SLRE_1», juntou-se o gerador 'eolo-eléctrico' e o gerador 'solar-foto-eléctrico' no equipamento considerado para a simulação, e obteve-se a melhor configuração de sistema energético igual à do primeiro sistema energético implementado. Se o encurtamento máximo de capacidade produtiva anual for 0 [%], então é necessário aumentar o número de baterias electroquímicas para 4 tal como se pode verificar no projecto «C2-1_SLRE_2». No caso do projecto de sistema energético «C2-2_CLRE_1» em que há ligação à rede eléctrica exterior só para a venda de electricidade, então o resultado da melhor configuração de sistema energético é igual ao do primeiro sistema energético implementado. No caso do projecto de sistema energético «C2-2_CLRE_2», também é possível comprar electricidade à rede eléctrica exterior até 100 [W], o que implica que o resultado da melhor configuração de sistema energético seja igual ao do projecto de sistema energético «C1-2_GSFE_2».

Os projectos de sistema energético, que têm os menores custos principais das melhores configurações, são o «C1-2_GSFE_2» e o «C2-2_CLRE_2», e esses custos são:

- custo total de capital inicial (CTCI): 2.289,00 [€];
- custo total, durante o tempo de existência do projecto, em valor actual líquido (CT_TEP_VAL): 3.561,00 [€];
- custo 'nivelado' de electricidade (CNE): 0,61 [€/kW.h].

Nos projectos de sistema energético «C1-1_SLRE» e «C1-2_CLRE» para o SEH da primeira expansão, a melhor configuração é constituída por um conjunto de geradores 'eolo-eléctricos' com 4 geradores e com a potência total de 5.600 [W], por um gerador hidro-eléctrico com potência de 177 [W], e não precisa de conversores do tipo de corrente eléctrica. O projecto de sistema energético «C1-3_CLRE» tem um gerador 'solar-foto-eléctrico' com a potência total de 448 [W] que corresponde a 8 painéis fotovoltaicos com 56 [W] cada, um gerador hidro-eléctrico com potência de 177 [W], e alguns conversores do tipo de corrente eléctrica.

Para o SEH da primeira expansão em que se inclui o conjunto de baterias electroquímicas, os projectos de sistema energético «C2-1_SLRE» e «C2-2_CLRE» têm quase a mesma melhor configuração que é constituída por um gerador 'eolo-eléctrico' com potência de 1.400 [W], um gerador 'solar-foto-eléctrico' com a potência total de 560 [W] que corresponde a 10 painéis fotovoltaicos de 56 [W], um conjunto de baterias electroquímicas com 4 baterias que corresponde a uma quantidade de energia total armazenável de 5.280 [W.h], e alguns conversores do tipo de corrente eléctrica. No projecto de sistema energético «C2-3_CLRE», utiliza-se todos os componentes existentes no edifício J da FEUP para a melhor configuração em que se pode comprar electricidade à rede eléctrica exterior até 100 [W], porque é necessário fornecer electricidade à 'carga-de-sistema' diferida para bombeamento de água e também à 'carga-de-sistema' primária de índice 1 que já existia.

Nos dois grupos principais relativos ao equipamento considerado para o SEH da primeira expansão, os projectos de sistema energético com os menores custos principais são «C1-3_CLRE» e «C2-3_CLRE», porque se pode comprar electricidade à rede eléctrica exterior.

Na análise de sensibilidade do projecto «C2-1_SLRE_1», o sistema energético óptimo é igual ou quase igual ao primeiro sistema energético implementado para a maior parte dos casos analisados. Só seria necessário acrescentar um gerador 'solar-foto-eléctrico', se a velocidade do vento em valor médio anual (VV_MA) diminui-se para baixo de 5,8 [m/s].

No projecto «C2-2_CLRE_2», resulta da análise de sensibilidade que a melhor configuração é um gerador 'solar-foto-eléctrico' com a potência total de 336 [W] que corresponde a 6 painéis fotovoltaicos de 56 [W], um conjunto de baterias electroquímicas com 2 baterias que corresponde a uma quantidade de energia total armazenável de 2.640 [W.h], alguns conversores do tipo de corrente eléctrica, e uma ligação à rede eléctrica exterior para venda e para compra de electricidade com o limite de compra até 100 [W], se a intensidade de radiação solar global diária em valor médio anual (IRSGD_MA) for igual a 4,5 [kW.h/m²/d] e a VV_MA tiver qualquer valor considerado para a sensibilidade. Se a IRSGD_MA aumentar para 6,75 [kW.h/m²/d], então basta retirar 2 painéis fotovoltaicos para que diminua a potência total do gerador 'solar-foto-eléctrico' para 224 [W]. Se a IRSGD_MA diminuir para 2,25 [kW.h/m²/d] e a VV_MA for menor do que 6,2 [m/s], então é necessário acrescentar 4 painéis fotovoltaicos para que aumente a potência total do gerador 'solar-foto-eléctrico' para 560 [W], e acrescentar 2 baterias ao conjunto de baterias electroquímicas.

Na análise de sensibilidade do projecto «C2-1_SLRE», o gerador hidro-eléctrico com potência de 177 [W] só faz parte da melhor configuração do sistema energético, quando a velocidade do vento em valor médio anual (VV_MA) é menor do que 5,5 [m/s], e o conjunto de baterias electroquímicas faz parte da melhor configuração em todos os casos analisados. Para os valores de referência da intensidade de radiação solar global diária em valor médio anual (IRSGD_MA) igual a 4,5 [kW.h/m²/d] e da VV_MA igual a 6,06 [m/s], e para qualquer valor do caudal da corrente-de-água em valor médio anual (CCA_MA), a melhor configuração do sistema energético é constituída por um gerador 'eolo-eléctrico' com potência de 1.400 [W], um gerador 'solar-foto-eléctrico' com a potência total de 560 [W] que corresponde a 10 painéis fotovoltaicos de 56 [W], um conjunto de baterias electroquímicas com 4 baterias que corresponde a uma quantidade de energia total armazenável de 5.280 [W.h], e alguns conversores do tipo de corrente eléctrica. É necessário mais o gerador 'solar-foto-eléctrico' e mais 2 baterias para o conjunto de baterias

electroquímicas do que no projecto «C2-1_SLRE_1», porque existe mais uma 'carga-de-sistema' que é a 'carga-de-sistema' diferida para bombeamento de água.

No projecto «C2-3_CLRE», se a VV_MA for igual a 6,06 [m/s] e quaisquer que sejam os valores da IRSGD_MA e do CCA_MA, então a melhor configuração do sistema energético é constituída por um gerador 'eolo-eléctrico' com potência de 1.400 [W], um gerador 'solar-foto-eléctrico' com a potência total de 112 [W] que corresponde a 2 painéis fotovoltaicos de 56 [W], um conjunto de baterias electroquímicas com 1 bateria que corresponde a uma quantidade de energia total armazenável de 1.320 [W.h], alguns conversores do tipo de corrente eléctrica, e uma ligação à rede eléctrica exterior com o limite de compra de electricidade até 150 [W]. Se a VV_MA aumentar para 9 [m/s], então basta retirar o gerador 'solar-foto-eléctrico'. Se a VV_MA diminuir para 3 [m/s] e o CCA_MA for superior ou igual a 5,15 [l/s], então elimina-se o gerador 'eolo-eléctrico' e o conjunto de baterias electroquímicas, e acrescenta-se um gerador hidro-eléctrico e mais painéis fotovoltaicos ao gerador 'solar-foto-eléctrico'.

Capítulo 9 - Conclusões gerais e perspectivas futuras

9.1 - Conclusões gerais

Na gestão operacional diária de um sistema energético híbrido (SEH), é possível verificar o funcionamento dos componentes do SEH conforme as disponibilidades dos recursos energéticos e a procura de electricidade do sistema consumidor eléctrico externo, e por consequência, pode-se averiguar se o consumo eléctrico externo é ou não é satisfeito pela produção eléctrica do SEH para cada período de tempo horário, e se o sistema armazenador de energia do SEH está bem dimensionado para armazenar energia que permita compensar a ausência ou a insuficiência de disponibilidade das fontes energéticas.

Para o SEH com componentes existentes no edifício J da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), a gestão operacional no dia 1 (capítulo 5) permite verificar que o conjunto de baterias electroquímicas atinge rapidamente o seu limite máximo de armazenamento energético por causa da elevada disponibilidade do recurso de energia eólica, e existe bastante excedência de produção eléctrica para satisfazer o consumo eléctrico externo. Se a disponibilidade do recurso energético eólico for reduzida e não for aproveitável pelo gerador ‘eolo-eléctrico’ tal como se simulou nos dias 2, 3 e 4 (capítulo 7), então há insuficiência de produção eléctrica que satisfaça o consumo eléctrico externo nos dias 2 e 3 para as duas configurações de SEH. Mas a segunda configuração do SEH tem excedência de produção eléctrica a partir do período de tempo horário 16, e o armazenamento energético final do conjunto de baterias electroquímicas é suficiente para que no dia seguinte não haja insuficiência de produção eléctrica em relação ao consumo eléctrico externo, caso se mantenham as condições iguais às do dia actual excepto o armazenamento energético inicial do dia seguinte que é igual ao armazenamento energético final do dia actual. Portanto seria necessário aumentar o número de baterias electroquímicas para aproveitar a excedência de produção eléctrica no armazenamento energético da segunda configuração do SEH, mas como o armazenamento energético final do conjunto de baterias electroquímicas é suficiente para satisfazer o consumo eléctrico externo no dia seguinte, então o número de baterias electroquímicas é suficiente caso se mantenham as condições para as disponibilidades dos recursos energéticos e para a procura de electricidade nos dias seguintes, e só se aumentaria o número de baterias electroquímicas no caso de se querer aumentar a autonomia do SEH para períodos de escassez dos recursos energéticos.

Se for acrescentado um sistema armazenador de energia hídrica ao SEH com componentes existentes no edifício J da FEUP, então reduz-se bastante o desperdício de energia eléctrica, e no dia 1 (capítulo 5) já há uma menor excedência de produção eléctrica relativamente ao consumo eléctrico externo, mas no dia 2 (capítulo 7) não há insuficiência nem excedência de produção de energia eléctrica à saída do SEH em relação ao consumo eléctrico externo para as duas configurações do SEH.

Num sistema armazenador de energia hídrica, existem alguns problemas na modelização do gerador hidro-eléctrico e do motor ‘electro-hídrico’, e na determinação de fórmulas de cálculo para os respectivos parâmetros. Esses problemas são ultrapassados acrescentando, ao SEH, um sistema armazenador de energia ‘electrolítica’ que tem a finalidade de compensar as excedências e as insuficiências referentes à produção eléctrica e ao consumo eléctrico que ocorrem no sistema armazenador de energia hídrica.

Nas versões 1.0 e 1.5 do programa de simulação sobre gestão e controlo de um SEH, é possível introduzir dados para a maior parte dos componentes do sistema energético global, calcular a simulação do funcionamento deste sistema durante um dia, e visualizar esta simulação em três

modos. A simulação do funcionamento do sistema energético global, que inclui a simulação do SEH, permite ao utilizador do programa, verificar a gestão dos fluxos de energia em cada período de tempo horário elementar desde a entrada até à saída no SEH, e também a gestão da energia que é retida no respectivo sistema armazenador de energia.

As versões 2.0 e 2.5 do programa de simulação sobre gestão e controlo de um SEH têm um sistema armazenador de energia hídrica nas suas estruturas de componentes do sistema energético global. Essas versões do programa permitem introduzir dados para alguns componentes do sistema energético global e ver a estrutura de componentes e as suas características.

Na utilização do programa “HOMER”, constata-se que o primeiro sistema energético, que foi implementado no edifício J da FEUP, está bem dimensionado para um encurtamento máximo de capacidade produtiva anual no valor de 5 [%], mas se o valor deste parâmetro for 0 [%], então é necessário duplicar o número de baterias electroquímicas passando a ser 4.

O segundo sistema energético implementado tem um gerador ‘solar-foto-eléctrico’ com 112 [W] e uma ligação à rede eléctrica exterior, e se for apenas possível vender electricidade, então é preciso aumentar 10 vezes mais a potência total do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ para o valor de 1.120 [W], e aumentar 5 vezes mais o número de baterias electroquímicas para 10 baterias. Se for possível comprar electricidade à rede eléctrica exterior até 100 [W], então só é necessário aumentar 3 vezes mais a potência total do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ para o valor de 336 [W] e manter o número de baterias electroquímicas.

Ao juntar o gerador ‘eolo-eléctrico’ e o gerador ‘solar-foto-eléctrico’ no equipamento considerado para a simulação, obtém-se a melhor configuração de sistema energético igual ou quase igual à do primeiro sistema energético implementado, se não houver ligação à rede eléctrica exterior ou se houver ligação só para a venda de electricidade. No caso de ser possível comprar electricidade à rede eléctrica exterior até 100 [W], então a melhor configuração de sistema energético tem um gerador ‘solar-foto-eléctrico’ com 336 [W] e um conjunto de baterias electroquímicas com 2 baterias, e este sistema é híbrido porque tem duas formas-de-energia de entrada que são a energia solar e a energia eléctrica.

Na análise de sensibilidade dos projectos de sistema energético da primeira expansão com aproveitamento de energia hídrica, verifica-se que o gerador hidro-eléctrico só faz parte da melhor configuração quando a velocidade do vento em valor médio anual for bastante inferior ao valor de referência que é 6,06 [m/s].

9.2 - Perspectivas futuras

No programa de simulação sobre gestão e controlo de um sistema energético híbrido (SEH), poderão ser feitas futuramente as seguintes partes:

- criar um ficheiro geral de dados e resultados mais eficiente no uso da memória, efectuar ficheiros específicos de dados para os componentes simples alteráveis do sistema energético global, e implementar os comandos de manipulação desses ficheiros;
- possibilitar o cálculo da simulação em vários passos de tempo cronológico para além da opção « 60 [min] = 1 [h] »;
- elaborar sub-rotinas para o cálculo da previsão das disponibilidades dos recursos energéticos e da previsão do consumo eléctrico externo, usando números imprecisos.

O programa de simulação sobre gestão e controlo de um SEH está implementado para simular, durante um dia, o funcionamento do sistema energético global que inclui o SEH e que tem uma estrutura fixa de componentes, fazendo assim uma gestão operacional diária do SEH. Esse programa pode ser aperfeiçoado para que permita o aumento do período de tempo a ser simulado para um ano e a alteração da estrutura de componentes do sistema energético global feita pelo utilizador, e para que se possa fazer a gestão de manutenção e a gestão económico-financeira de um SEH.

Para recolher e processar dados provenientes da mini-estação meteorológica, pode-se conceber e implementar um módulo informático que será interligado com o programa de simulação sobre gestão e controlo de um SEH. Este programa poderá evoluir para um programa de monitorização estabelecendo-se uma interligação entre o programa e o SEH existente, para que se monitorize em tempo real o funcionamento deste SEH.

No estudo de formas-de-energia armazenáveis que não sejam poluentes e sejam alternativas viáveis relativamente à energia ‘electrolítica’, será necessário fazer as seguintes tarefas:

- a implementação prática de um sistema armazenador de energia hídrica para obter o SEH da primeira expansão e verificar os resultados do estudo teórico;
- o estudo teórico do SEH da segunda expansão com armazenamento de energia ‘hidrogénica’;
- a implementação prática de um sistema armazenador de energia ‘hidrogénica’ para obter o SEH da segunda expansão.

Referências bibliográficas

- [1]: Luiz António Rossi; ‘Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico, como Alternativa na Geração Descentralizada de Electricidade para Áreas Rurais Isoladas’; Universidade Estadual de Campinas; Brasil; 2003; www.proceedings.scielo.br; Visitado em Fevereiro de 2008.
- [2]: Claudomiro F. O. Barbosa, João T. Pinho, Edinaldo J. S. Pereira, Marcos A. B. Galhardo, Sílvio B. Vale, “Wilson” M. A. Maranhão; ‘Situação da Geração Eléctrica através de Sistemas Híbridos no Estado do Pará e Perspectivas frente à Universalização da Energia Eléctrica’; Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE), Universidade Federal do Pará (UFPA); Brasil; 2004; www.ufpa.br; Visitado em Fevereiro de 2008.
- [3]: José Luiz P. A. Cunha; ‘Electrificação de Edificações Rurais Isoladas Utilizando Energia Solar Fotovoltaica’; Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras; Brasil; 2006; solenerg.com.br; Visitado em Fevereiro de 2008.
- [4]: Cláudio Domingos M. Monteiro; ‘Integração de Energias Renováveis na Produção Descentralizada de Electricidade Utilizando SIG’; Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores (DEEC), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Norte (INESC-N); Portugal; 1996; power.inescn.pt; Visitado em Fevereiro de 2008.
- [5]: “C. Abbey”, “G. Joos”; “Energy Management Strategies for Optimization of Energy Storage in Wind Power Hybrid System”; “Department of Electrical Engineering”, “McGill University”; Canadá; 2005; “Power Electronics Specialists Conference, 2005. PESC '05. IEEE 36th”; Páginas: 2066-2072; ‘NINL’ (←(P,I)— “ISBN”): 0-7803-9033-4; ieeexplore.ieee.org; Visitado em Fevereiro de 2008.
- [6]: “Lingfeng Wang”, “Chanan Singh”; “Compromise between Cost and Reliability in Optimum Design of an Autonomous Hybrid Power System Using Mixed-Integer PSO Algorithm”; “Department of Electrical and Computer Engineering”, “Texas A&M University”; EUA; 2007; “Clean Electrical Power, 2007. ICCEP '07. International Conference”; Páginas: 682-689; ‘NINL’ (←(P,I)— “ISBN”): 1-4244-0632-3; ieeexplore.ieee.org; Visitado em Fevereiro de 2008.
- [7]: “Mei Qiang”, “Wu Wei-yang”, “Xu Zhen-lin”; “A Multi-Directional Power Converter for a Hybrid Renewable Energy Distributed Generation System with Battery Storage”; “Tianjin University”, “Yanshan University”; China; 2006; “Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. IPEMC '06. CES/IEEE 5th International”; Volume 3; Páginas: 1-5; ‘NINL’ (←(P,I)— “ISBN”): 1-4244-0449-5; ieeexplore.ieee.org; Visitado em Fevereiro de 2008.
- [8]: “Muriel Alaphilippe”, “Pascal Stouffs”, “Didier Marquet”; “Production d’Énergie Électrique pour Site Isolé par Système Hybride de Conversion d’Énergie Solaire”; “Laboratoire de Thermique, Énergétique et Procédés”, “Département Génie Thermique & Énergie”, “France Télécom, R&D, RESA/FACE”; França; Agosto de 2007; jith2007-static.enstimac.fr; Visitado em Fevereiro de 2008.

- [9]: “Julien Labbé”; “L’Hydrogène Électrolytique comme Moyen de Stockage d’Électricité pour Systèmes Photovoltaïques Isolés”; “École des Mines de Paris”; França; Dezembro de 2006; pastel.paristech.org; Visitado em Fevereiro de 2008.
- [10]: “Roberto Pineda León”, “Johnny Nahui Ortiz”; “Sistemas de Energización Híbrida para Fines Productivos en Comunidades de Lambayeque, Perú”; “Mosaico Científico”; Peru; 2006; www.scielo.org.pe; Visitado em Fevereiro de 2008.
- [11]: José Pedro Sucena Paiva; ‘Redes de Energia Eléctrica, uma Análise Sistémica’; IST “Press” de Lisboa; Portugal; Abril de 2005; ‘NINL’ (←(P,I)— “ISBN”): 972-8469-34-9; Livro.
- [12]: Rui M. G. Castro; ‘Introdução à Energia Fotovoltaica’; Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade Técnica de Lisboa (UTL); Portugal; Janeiro de 2004; Edição 1; Colecção de Energias Renováveis e Produção Descentralizada.
- [13]: Rui M. G. Castro; ‘Equipamento Eléctrico dos Geradores Eólicos’; Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade Técnica de Lisboa (UTL); Portugal; Março de 2004; Edição 0; Colecção de Energias Renováveis e Produção Descentralizada.
- [14]: Rui M. G. Castro; ‘Introdução à Cogeração’; Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade Técnica de Lisboa (UTL); Portugal; Fevereiro de 2006; Edição 0; Colecção de Energias Renováveis e Produção Descentralizada.
- [15]: Rui M. G. Castro; ‘Introdução à Avaliação Económica de Investimentos’; Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade Técnica de Lisboa (UTL); Portugal; Janeiro 2007; Edição 3; Colecção de Energias Renováveis e Produção Descentralizada.
- [16]: Rui M. G. Castro; ‘Introdução à Energia Mini-Hídrica’; Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade Técnica de Lisboa (UTL); Portugal; Fevereiro de 2007; Edição 3; Colecção de Energias Renováveis e Produção Descentralizada.
- [17]: Rui M. G. Castro; ‘Introdução à Energia Eólica’; Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade Técnica de Lisboa (UTL); Portugal; Março de 2007; Edição 3; Colecção de Energias Renováveis e Produção Descentralizada.
- [18]: Eduardo “Perez Lebeña”, Jorge Cruz Costa; ‘Curso de Instaladores de Equipamentos Solares Térmicos para Conversão Térmica da Energia Solar’; Sociedade Portuguesa de Energia Solar (SPES), Departamento de Energias Renováveis (DER) do Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI); Portugal; Dezembro de 2004.
- [19]: Maria João Carvalho; ‘Princípios Gerais para Concepção e Dimensionamento de Sistemas Solares Térmicos Activos’; Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI), Instituto de Tecnologias Energéticas (ITE); Portugal; Novembro de 1998.
- [20]: ‘Energia Fotovoltaica - Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação’; Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade Técnica de Lisboa (UTL); Portugal; Janeiro de 2004.
- [21]: ‘Energia Solar Térmica - Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação’; Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade Técnica de Lisboa (UTL); Portugal; Janeiro de 2004.

- [22]: Aníbal Traça de Almeida, ... ; ‘Manual de Boas Práticas de Eficiência Energética’; ISR, do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, da Universidade de Coimbra, BCSD Portugal; Portugal; Novembro de 2005.
- [23]: “Rodolfo Dufo López”, “José Luis Bernal Agustín”; “Curso interactivo de Energía Solar Fotovoltaica”; Centro Politécnico Superior, da Universidade de “Zaragoza”; Espanha; Janeiro de 2001; Documento informático de hipertexto.
- [24]: “Johnny Weiss”, ... ; “Photovoltaics - Design and Installation Manual”; “Solar Energy International”, “New Society Publishers”; Canadá; Abril de 2004.
- [25]: Eduardo Miguel R. de Almeida; ‘Microgeração Eólica’; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Enervento; Portugal; 2002-2003; Relatório de estágio.
- [26]: Daniel Filipe F. Costa, Nuno Filipe da S. Pinto; ‘Análise da Viabilidade Económica da Instalação de um Sistema Produtor Solar-Fotovoltaico na FEUP’; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto (INESC); Portugal; 2003-2004; Relatório de projecto.

Endereços de sítios de ‘Teia Informática’ (←(P,I)— “Web sites”) na “Internet” que foram consultados durante o período de realização da dissertação para obtenção de programas informáticos e respectiva documentação:

- [27]: « <http://www.nrel.gov/homer/> »; Programa “HOMER”; “National Renewable Energy Laboratory”; Estados Unidos da América (EUA); 2007.
- [28]: « <http://www.retscreen.net/> »; Programa “RET-Screen”; “RET-Screen International”; Canadá; 2007.

Anexo 1 - Imagens do programa “HOMER”

A1.1 - Imagens da caracterização dos recursos energéticos

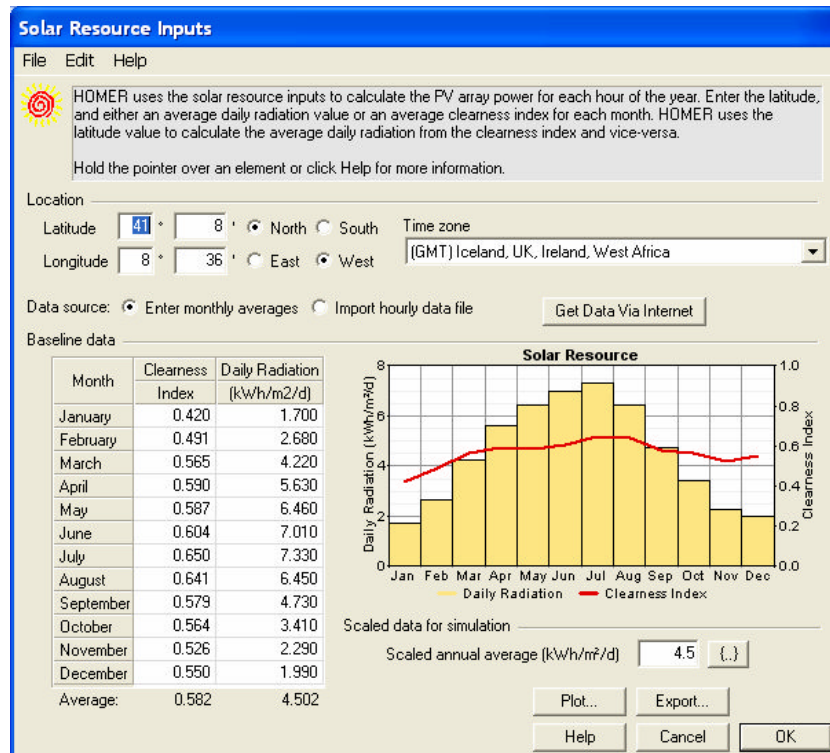


Figura A1.1.1: Janela de introdução de dados para o recurso energético solar (E_{SLR})

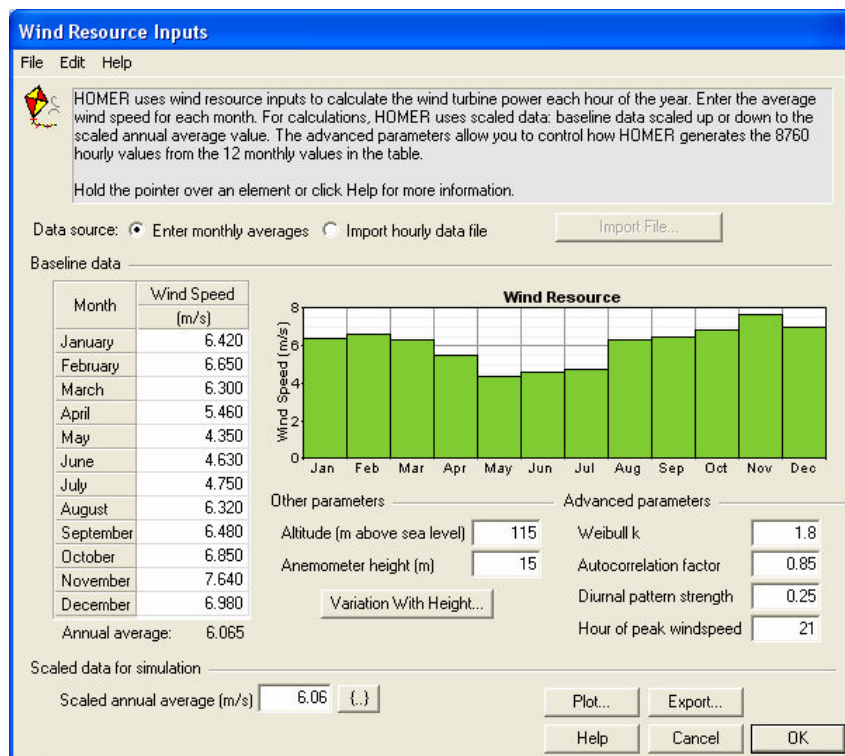


Figura A1.1.2: Janela de introdução de dados para o recurso energético eólico (E_{EÓL})

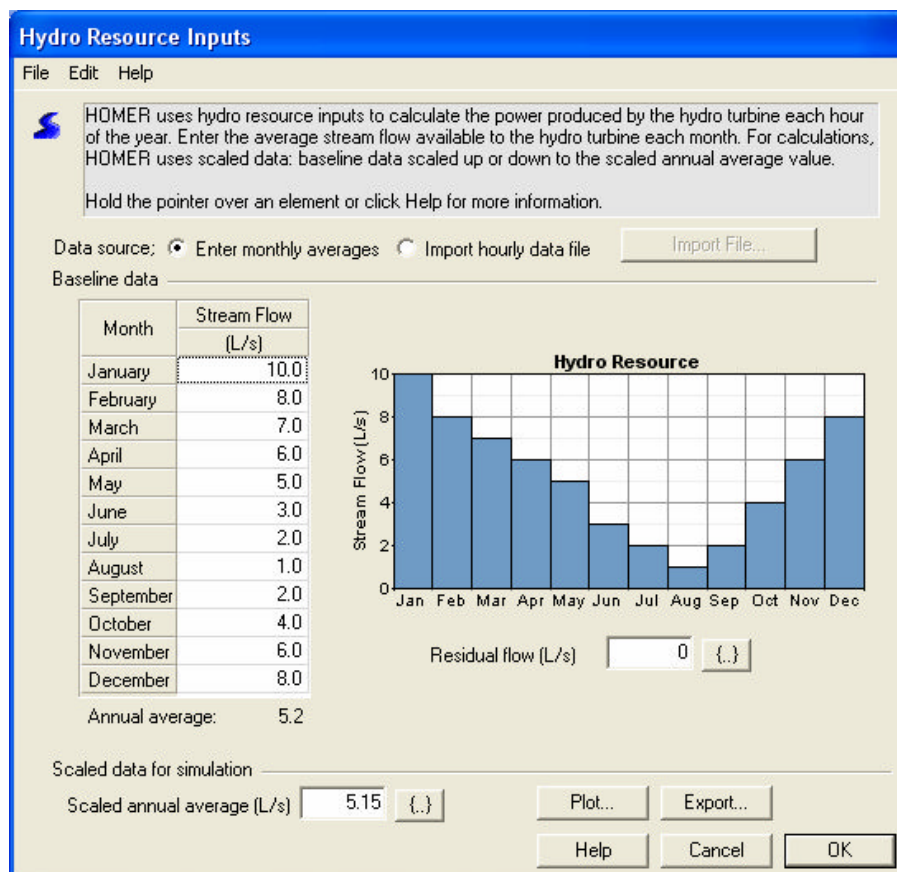


Figura A1.1.3: Janela de introdução de dados para o recurso energético hídrico (E_HDC)

A1.2 - Imagens da caracterização dos componentes de sistema energético fornecedor de electricidade

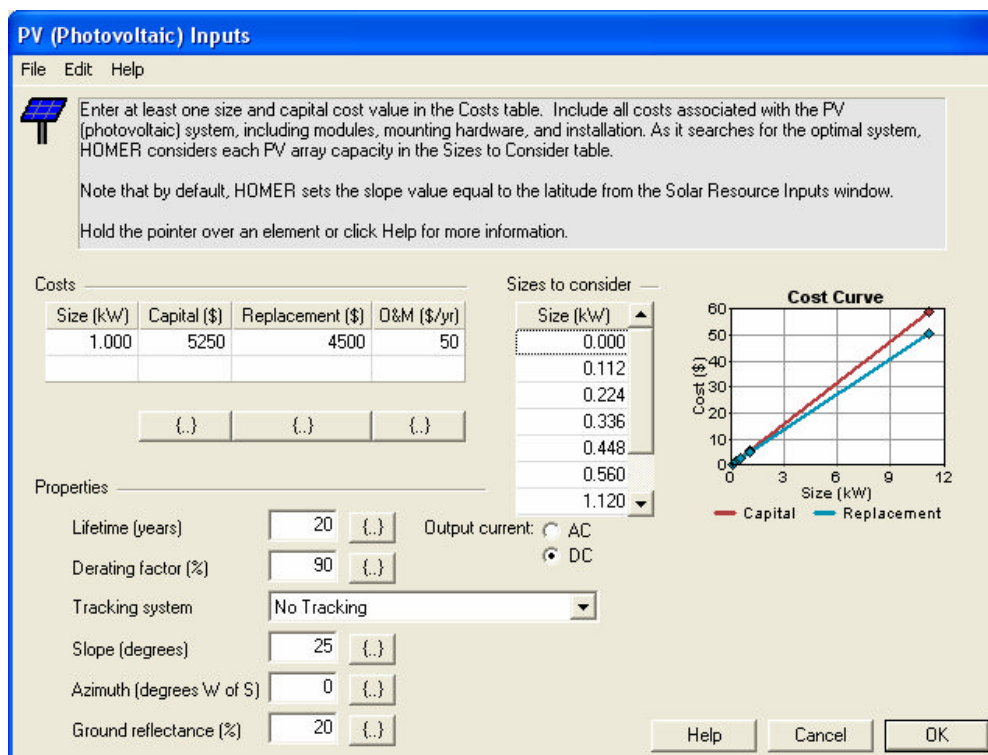


Figura A1.2.1: Janela de introdução de dados para o gerador 'solar-foto-elétrico' (GSFE)

Wind Turbine Inputs

File Edit Help

Choose a wind turbine type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include the cost of the tower, controller, wiring, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Turbine type: Fortis Passaat 1400 Details... New... Delete

Turbine properties

Abbreviation: P1400 (used for column headings)
 Manufacturer: Fortis
 Website: www.fortis.nl
 Current: AC

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	5500	4000	100

{ } { } { }

Other

Lifetime (yrs): 20 { }
 Hub height (m): 18 { }

Sizes to consider

Quantity
0
1
2
3
4
5
10

Power Curve

Cost Curve

Help Cancel OK

Figura A1.2.2: Janela de introdução de dados para o gerador 'eolo-eléctrico' (GEE)

Battery Inputs

File Edit Help

Choose a battery type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the battery bank, such as mounting hardware, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Battery type: Autosil E12-110, Série E Details... New... Delete

Battery properties

Manufacturer: Autosil
 Website: www.autosil.pt
 Nominal voltage: 12 V
 Nominal capacity: 110 Ah (1.32 kWh)
 Lifetime throughput: 685 kWh

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	200	180	10.00

{ } { } { }

Advanced

☐ Minimum battery life (yr): 4 { }

Sizes to consider

Quantity
0
1
2
4
6
8
10
40

Cost Curve

Help Cancel OK

Figura A1.2.3: Janela de introdução de dados para o conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ)

Converter Inputs

File Edit Help

A converter is required for systems in which DC components serve an AC load or vice-versa. A converter can be an inverter (DC to AC), rectifier (AC to DC), or both.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the converter, such as hardware and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each converter capacity in the Sizes to Consider table. Note that all references to converter size or capacity refer to inverter capacity.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1.000	1250	1000	50

{ } { } { }

Sizes to consider

Size (kW)
0.050
0.100
0.150
0.250
0.500
0.750
1.000

Cost Curve

Inverter inputs

Lifetime (years): 10 { }
 Efficiency (%): 90 { }
☒ Inverter can operate simultaneously with an AC generator

Rectifier inputs

Capacity relative to inverter (%): 75 { }
 Efficiency (%): 90 { }

Help Cancel OK

Figura A1.2.4: Janela de introdução de dados para o conjunto de dispositivos conversores do tipo de corrente eléctrica (CTCE)

Grid Inputs
File Edit Help

Click Add to add as many rates as necessary. Select a rate and click on the diagram to indicate when each rate applies.
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Rates | Emissions | Advanced |

☒ Scheduled rates ☐ Real time prices

Step 1: Define and select a rate

Rate	Price (\$/kWh)	Sellback (\$/kWh)	Demand (\$/kW/mo)
Taxa 1	0.080	0.040	0.000
Taxa 2	0.150	0.075	0.000

Add Remove Edit...

Step 2: Select a time period
All Week Weekdays Weekends

Step 3: Click on the chart to indicate when the selected rate applies.

☐ Net metering
☒ Net purchases calculated monthly
☐ Net purchases calculated annually

Rate Schedule

00:00 04:00 08:00 12:00 16:00 20:00 24:00

Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Legend: Taxa 1 (Green), Taxa 2 (Yellow), All week (Black), Weekdays (White), Weekends (Grey)

Help Cancel OK

Figura A1.2.5: Janela de introdução de dados para as tarifas (ou taxas) da rede eléctrica exterior (REE)

Grid Inputs
File Edit Help

Click Add to add as many rates as necessary. Select a rate and click on the diagram to indicate when each rate applies.
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Rates | Emissions | Advanced |

Emissions factors for grid power

Carbon dioxide (g/kWh)	582	{...}
Carbon monoxide (g/kWh)	0	{...}
Unburned hydrocarbons (g/kWh)	0	{...}
Particulate matter (g/kWh)	0	{...}
Sulfur dioxide (g/kWh)	2.74	{...}
Nitrogen oxides (g/kWh)	1.34	{...}

Help Cancel OK

Figura A1.2.6: Janela de introdução de dados para as emissões de poluentes da rede eléctrica exterior (REE)

Grid Inputs
File Edit Help

Click Add to add as many rates as necessary. Select a rate and click on the diagram to indicate when each rate applies.
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Rates | Emissions | Advanced |

Additional charges

Interconnection charge (\$)	0	{...}
Standby charge (\$/yr)	0	{...}

Purchase and sales capacities

Sale capacity (kW)	1000	{...}
Purchase capacity	Max. demand (kW)	
	0.000	
	0.100	

Control parameters

☐ Prohibit grid from charging battery above power price of (\$/kWh)	0.15	{...}
☐ Prohibit battery from discharging below power price of (\$/kWh)	0.1	{...}
☐ Prohibit grid sales from battery below sellback rate of (\$/kWh)	0.05	{...}
☐ Prohibit grid sales below sellback rate of (\$/kWh)	0.05	{...}

Help Cancel OK

Figura A1.2.7: Janela de introdução de dados para os parâmetros avançados da rede eléctrica exterior (REE)

Grid Inputs

File Edit Help

Click Add to add as many rates as necessary. Select a rate and click on the diagram to indicate when each rate applies.
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Rates | Emissions | Advanced

☒ Scheduled rates ☐ Real time prices

Step 1: Define and select a rate

Rate	Price (\$/kWh)	Sellback (\$/kWh)	Demand (\$/kW/mo)
Rate 1	0.100	0.050	0.000

Add Remove Edit...

Step 2: Select a time period

☐ All Week ☐ Weekdays ☐ Weekends

Step 3: Click on the chart to indicate when the selected rate applies.

☐ Net metering

☒ Net purchases calculated monthly
☐ Net purchases calculated annually

Rate Schedule

Time of Day

00:00 04:00 08:00 12:00 16:00 20:00 24:00

Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Rate 1

All week
Weekdays
Weekends

Help Cancel OK

Figura A1.2.8: Janela de introdução de dados para as tarifas (ou taxas) da rede eléctrica exterior (REE) para projectos de sistema energético da 1ª expansão

Hydro Inputs

File Edit Help

HOMER models run-of-river hydro installations. Enter the capital cost, available head, and turbine design flow rate. For Economics values, include the civil works and all costs associated with the hydro system. HOMER calculates the nominal power from the available head, design flow rate, and efficiency.
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Economics

Capital cost (\$) 10000 (..)

Replacement cost (\$) 7500 (..)

O&M cost (\$/yr) 250 (..)

Lifetime (years) 30 (..)

Turbine

Available head (m) 12 (..) Nominal power: 0.177 kW

Design flow rate (L/s) 2 (..)

Minimum flow ratio (%) 5 (..)

Maximum flow ratio (%) 125 (..)

Efficiency (%) 75 (..)

Generator type ☒ AC ☐ DC

Intake pipe

Pipe head loss (%) 0 (..) Pipe Head Loss Calculator...

Systems to consider

☒ Simulate systems both with and without the hydro turbine
☐ Include the hydro turbine in all simulated systems

Help Cancel OK

Figura A1.2.9: Janela de introdução de dados para o gerador hidro-eléctrico (GHE)

A1.3 - Imagens da caracterização do sistema consumidor de energia eléctrica

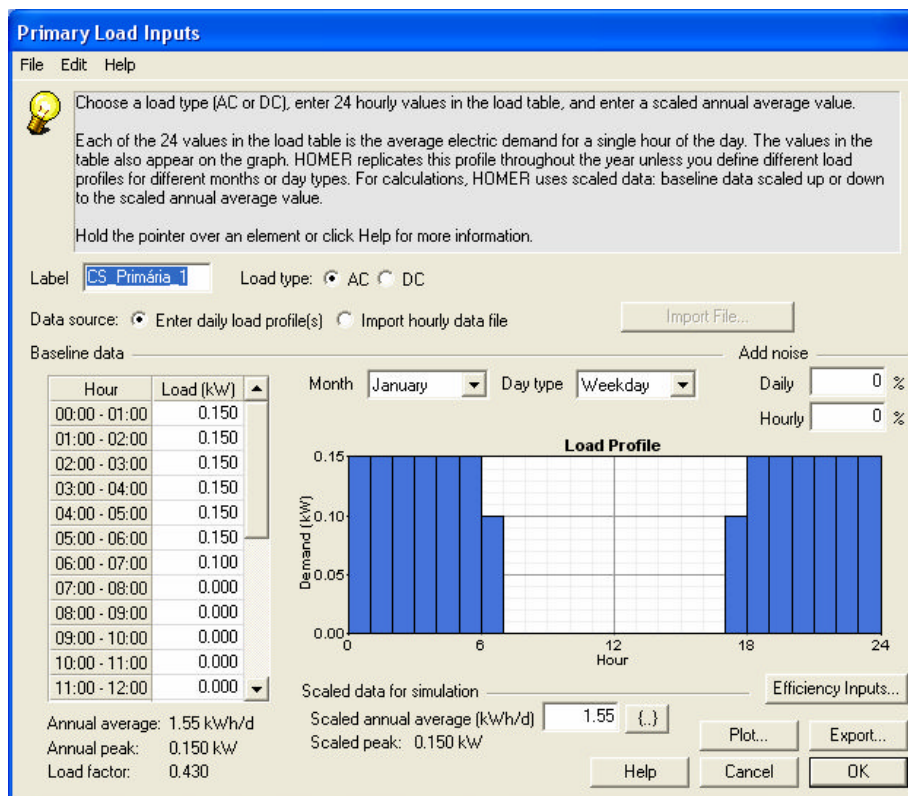


Figura A1.3.1: Janela de introdução de dados para a 'carga-de-sistema' primária de índice 1 (CSP1) e para o 1º período semestral

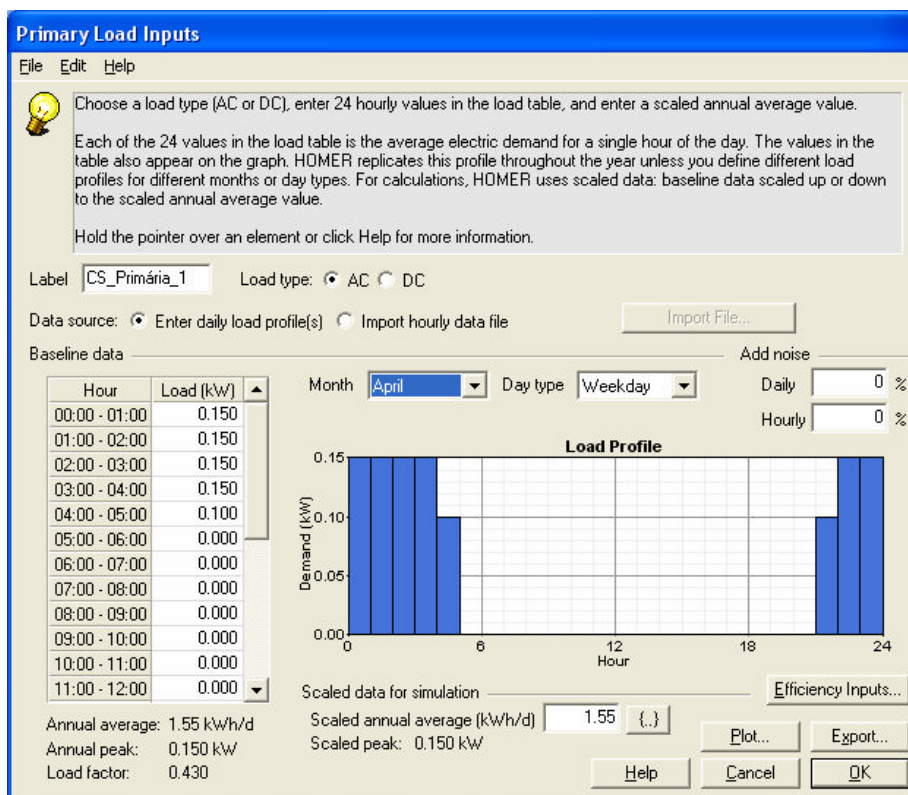


Figura A1.3.2: Janela de introdução de dados para a 'carga-de-sistema' primária de índice 1 (CSP1) e para o 2º período semestral

Deferrable Load Inputs

File Edit Help

 Deferrable load is electric demand that must be served within some time period, but the exact timing is not important. Water pumping, battery charging, and ice making can be modeled as deferrable loads.

Enter 12 monthly values of average deferrable load, the storage capacity, and peak load. For calculations, HOMER uses scaled data: baseline data scaled up or down to the scaled annual average value.

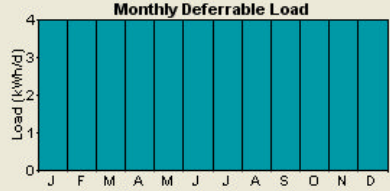
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Label: **CS Diferida BA** Load type: ☒ AC ☐ DC

Baseline data

Month	Average Load (kWh/d)
January	4.000
February	4.000
March	4.000
April	4.000
May	4.000
June	4.000
July	4.000
August	4.000
September	4.000
October	4.000
November	4.000
December	4.000
Annual average:	4.00

Monthly Deferrable Load



Scaled data for simulation

Scaled annual average (kWh/d) {..}

Other inputs

Storage capacity (kWh) {..}

Peak load (kW) {..}

Minimum load ratio (%) {..}

Help Cancel OK

Figura A1.3.3: Janela de introdução de dados para a 'carga-de-sistema' diferida do bombeamento de água (CSDBA) e para projectos de sistema energético da 1ª expansão

A1.4 - Imagens da definição de parâmetros gerais do sistema energético

Economic Inputs

File Edit Help

HOMER applies the economic inputs to each system it simulates to calculate the system's net present cost.
Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Annual real interest rate (%) {..}

Project lifetime (years) {..}

System fixed capital cost (\$) {..}

System fixed O&M cost (\$/yr) {..}

Capacity shortage penalty (\$/kWh) {..}

Help Cancel OK

Figura A1.4.1: Janela de introdução de dados para parâmetros económicos do sistema energético

System Control Inputs

File Edit Help

The system control inputs define how HOMER models the operation of the battery bank and generators. The dispatch strategy determines how the system charges the battery bank.
Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Simulation time step (minutes) {..}

Dispatch strategy _____

☒ Load following

☒ Cycle charging ☒ Apply setpoint SOC

Setpoint state of charge (%) {..}

Generator control _____

☒ Allow systems with multiple generators

☒ Allow multiple generators to operate simultaneously

☒ Allow systems with generator capacity less than peak load

Help Cancel OK

Figura A1.4.2: Janela de introdução de dados para controlo de sistema

Grid Extension Inputs

File Edit Help

HOMER will use these inputs to calculate the breakeven grid extension distance, which is the minimum distance from the grid that makes a stand-alone system cheaper than extending the grid.
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Capital cost (\$/km) {..}

O&M cost (\$/yr/km) {..}

Grid power price (\$/kWh) {..}

Help Cancel OK

Figura A1.4.3: Janela de introdução de dados para extensão da rede eléctrica

Emissions Inputs

File Edit Help

Costs resulting from emissions penalties appear as 'Other O&M cost'. HOMER discards systems that exceed the specified emissions limits.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Emissions penalties

Carbon dioxide (\$/t)	0	{}
Carbon monoxide (\$/t)	0	{}
Unburned hydrocarbons (\$/t)	0	{}
Particulate matter (\$/t)	0	{}
Sulfur dioxide (\$/t)	0	{}
Nitrogen oxides (\$/t)	0	{}

Limits on emissions

☐ Carbon dioxide (kg/yr)	0	{}
☐ Carbon monoxide (kg/yr)	0	{}
☐ Unburned hydrocarbons (kg/yr)	0	{}
☐ Particulate matter (kg/yr)	0	{}
☐ Sulfur dioxide (kg/yr)	0	{}
☐ Nitrogen oxides (kg/yr)	0	{}

Help Cancel OK

Figura A1.4.4: Janela de introdução de dados para emissões de substâncias poluentes

Constraints

File Edit Help

Constraints are conditions that systems must meet to be feasible. Infeasible systems do not appear in the sensitivity and optimization results. Operating reserve provides a margin to account for intra-hour deviation from the hourly average of the load or renewable power output. HOMER calculates this margin for each hour based on the operating reserve inputs.

Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Maximum annual capacity shortage (%) 5 {}

Minimum renewable fraction (%) 50 {}

Operating reserve

As percent of load

Hourly load (%)	10	{}
Annual peak load (%)	0	{}

As percent of renewable output

Solar power output (%)	20	{}
Wind power output (%)	40	{}

Note:
HOMER calculates the total required operating reserve for each hour by multiplying each of these four inputs by the load or output value for that hour and adding the results.

Help Cancel OK

Figura A1.4.5: Janela de introdução de dados para restrições de praticabilidade dos sistemas

A1.5 - Imagens da selecção da melhor configuração do sistema energético em várias situações

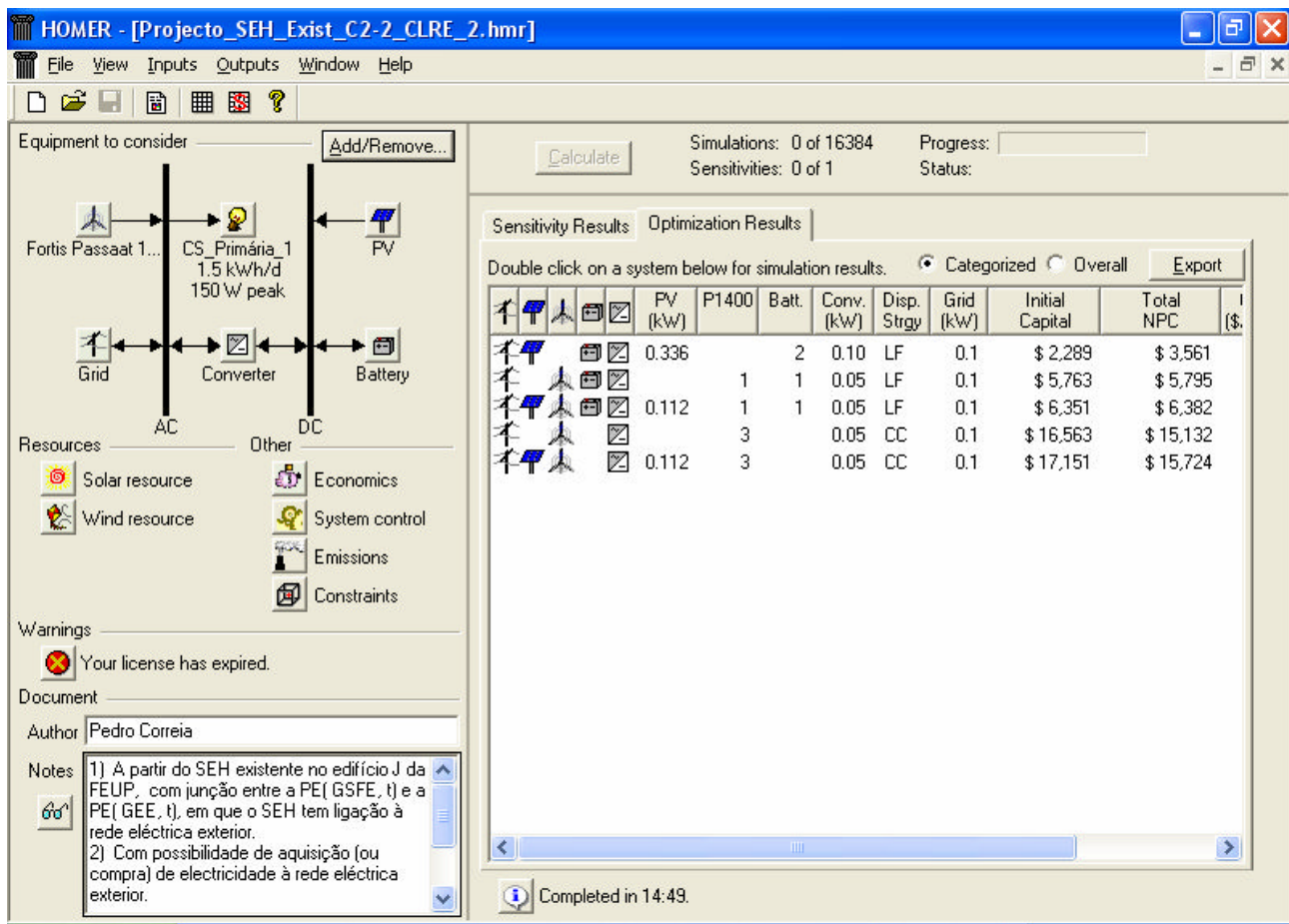


Figura A1.5.1: Janela de resultados de optimização do projecto de sistema energético «C2-2_CLRE_2»

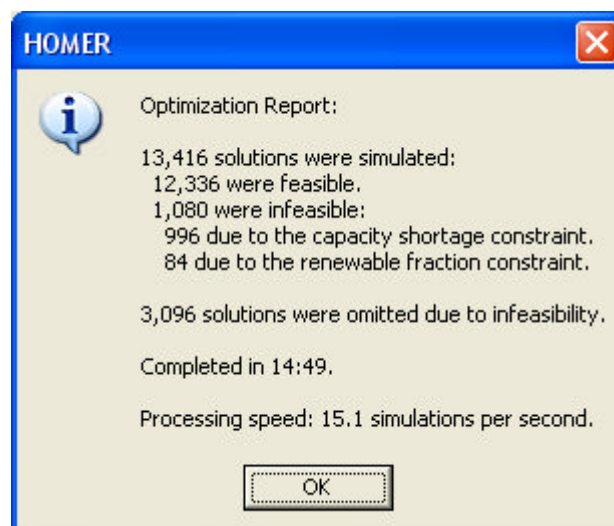


Figura A1.5.2: Janela de relatório de optimização do projecto de sistema energético «C2-2_CLRE_2»

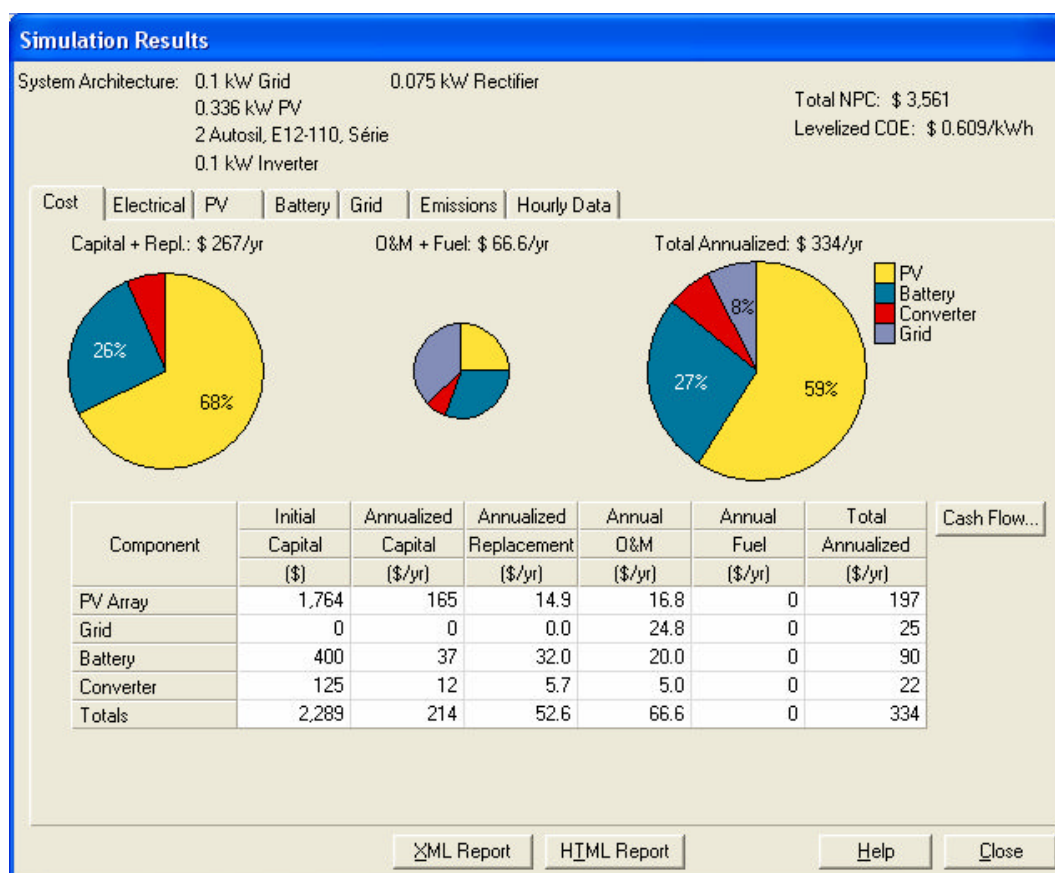


Figura A1.5.3: Parte da janela com custos da melhor configuração do projecto «C2-2_CLRE_2»

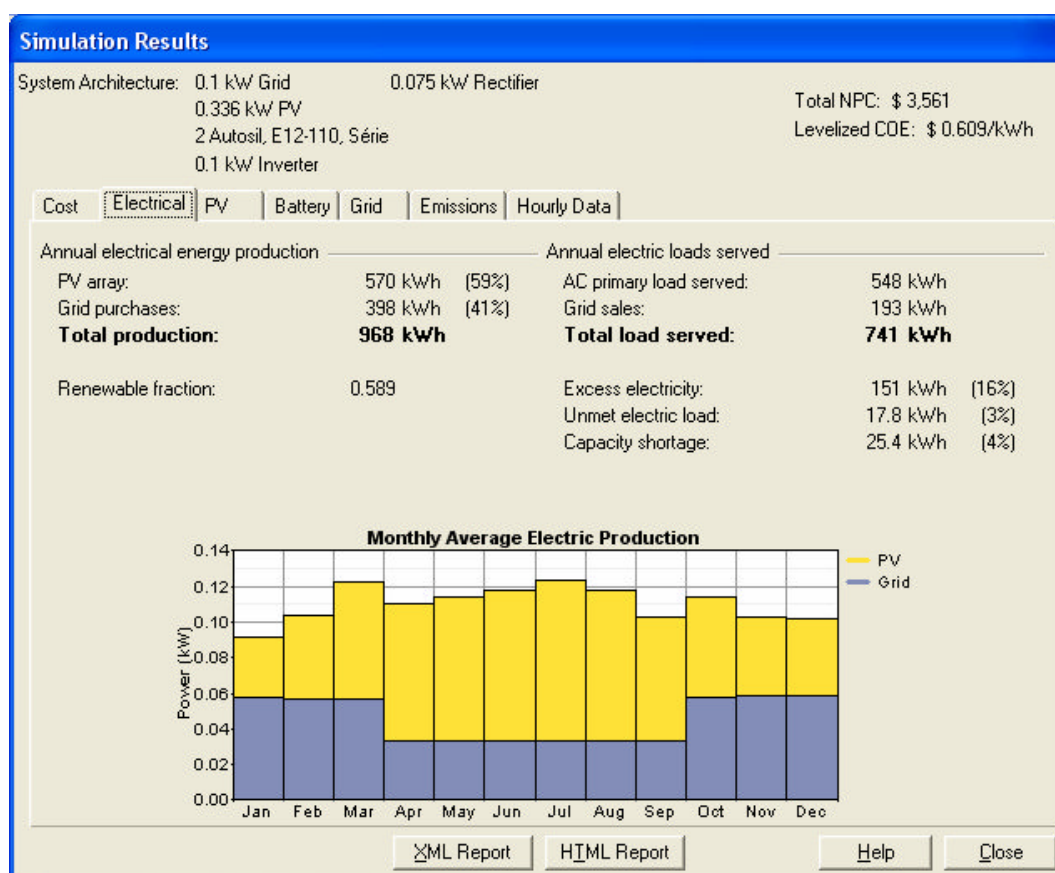


Figura A1.5.4: Parte da janela com resultados de electricidade da melhor configuração do projecto «C2-2_CLRE_2»

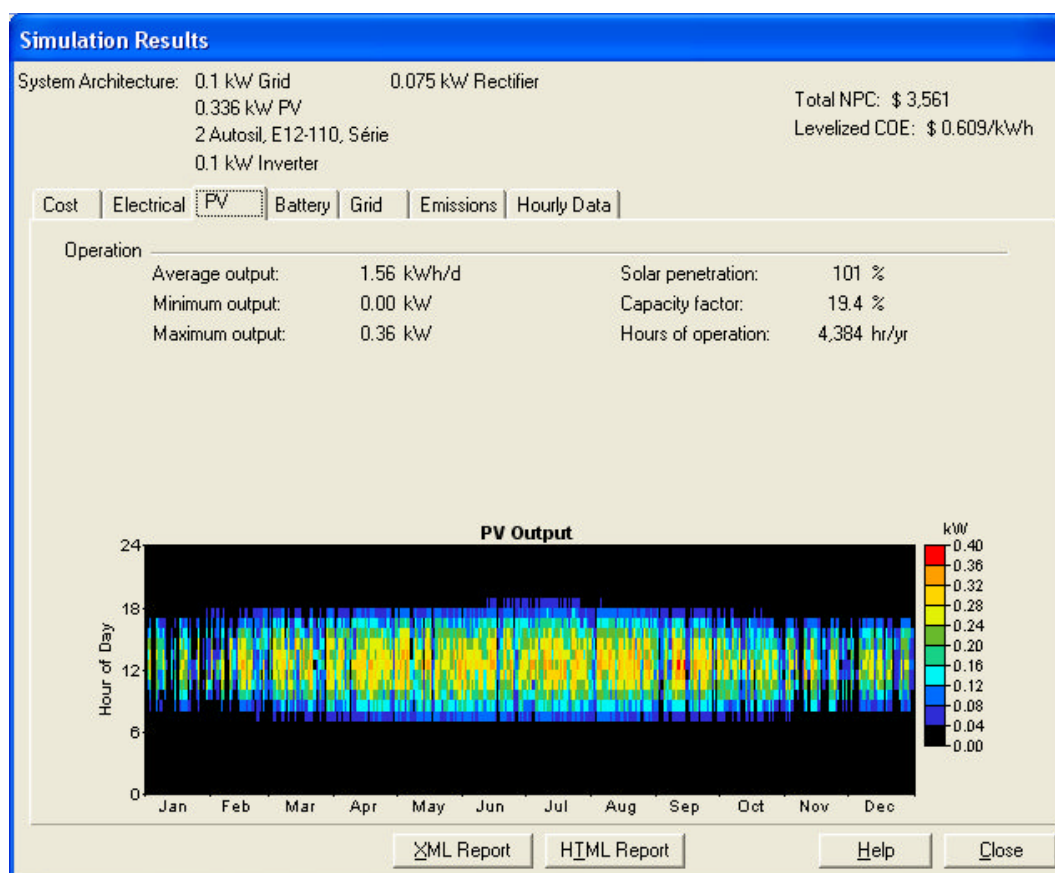


Figura A1.5.5: Parte da janela com resultados do GSFE da melhor configuração do projecto «C2-2_CLRE_2»

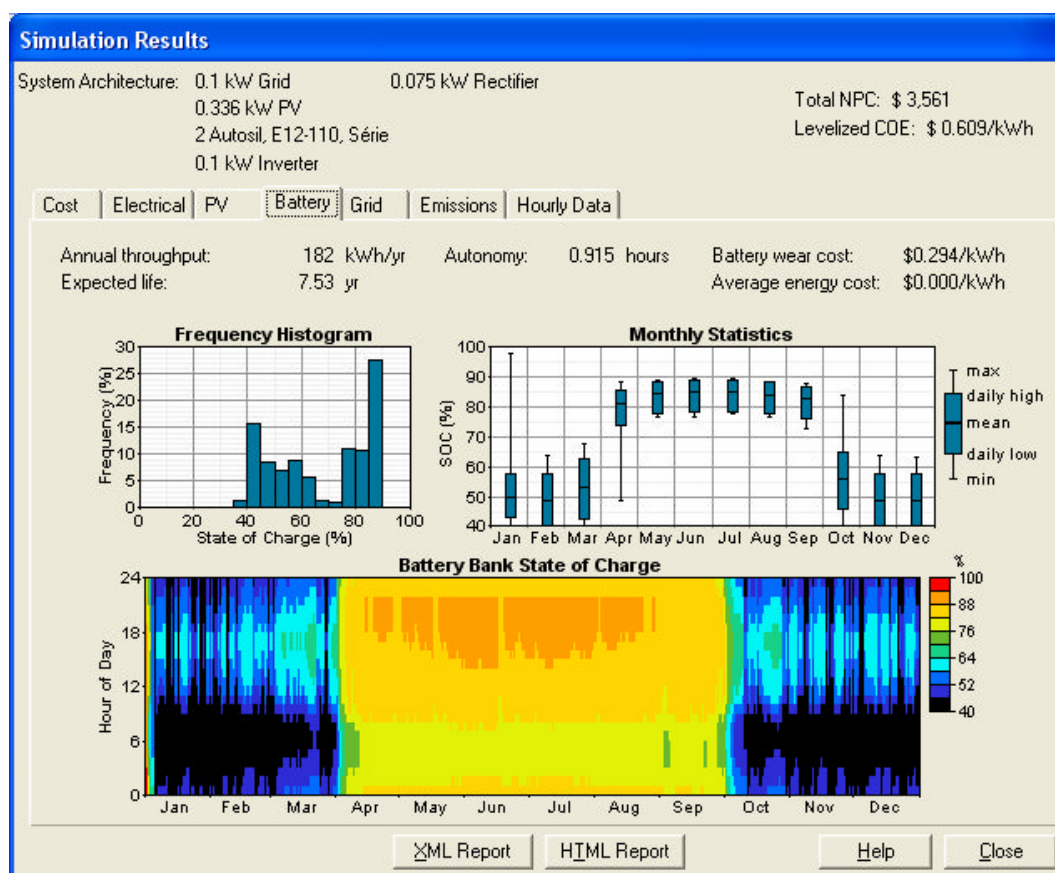


Figura A1.5.6: Parte da janela com resultados do CBEQ da melhor configuração do projecto «C2-2_CLRE_2»

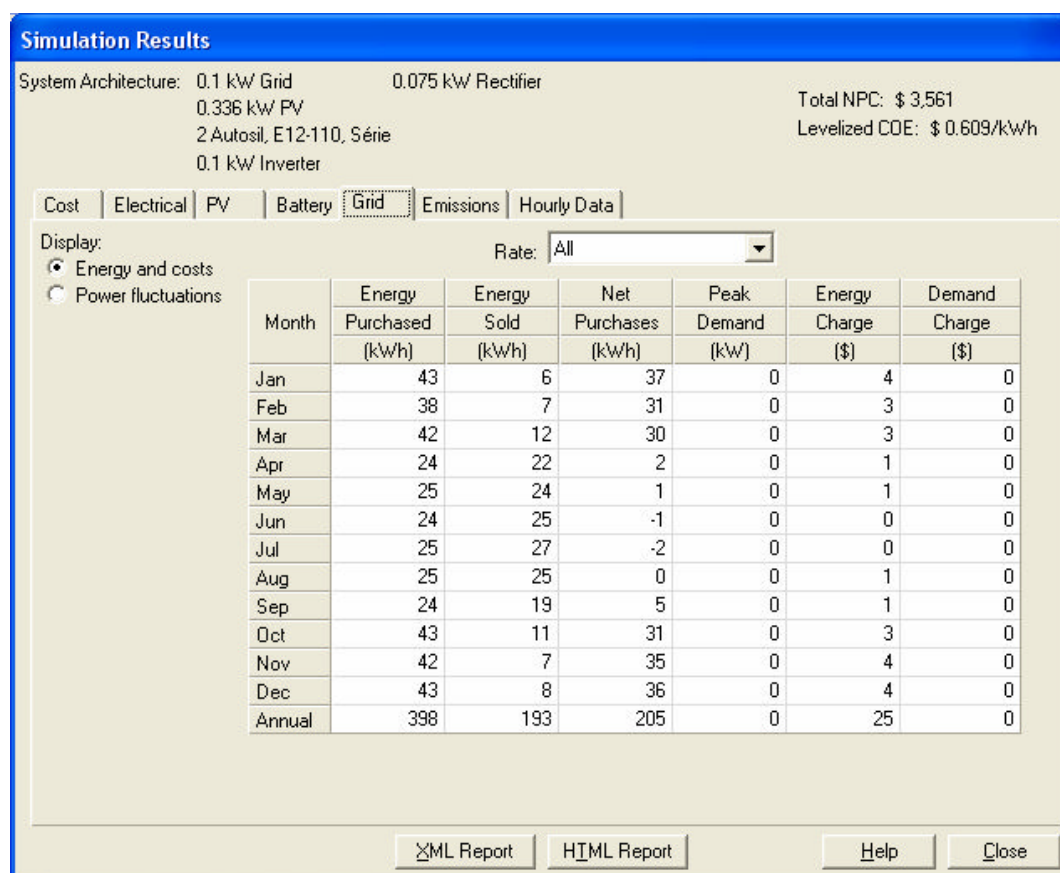


Figura A1.5.7: Parte da janela com resultados da REE da melhor configuração do projecto «C2-2_CLRE_2»

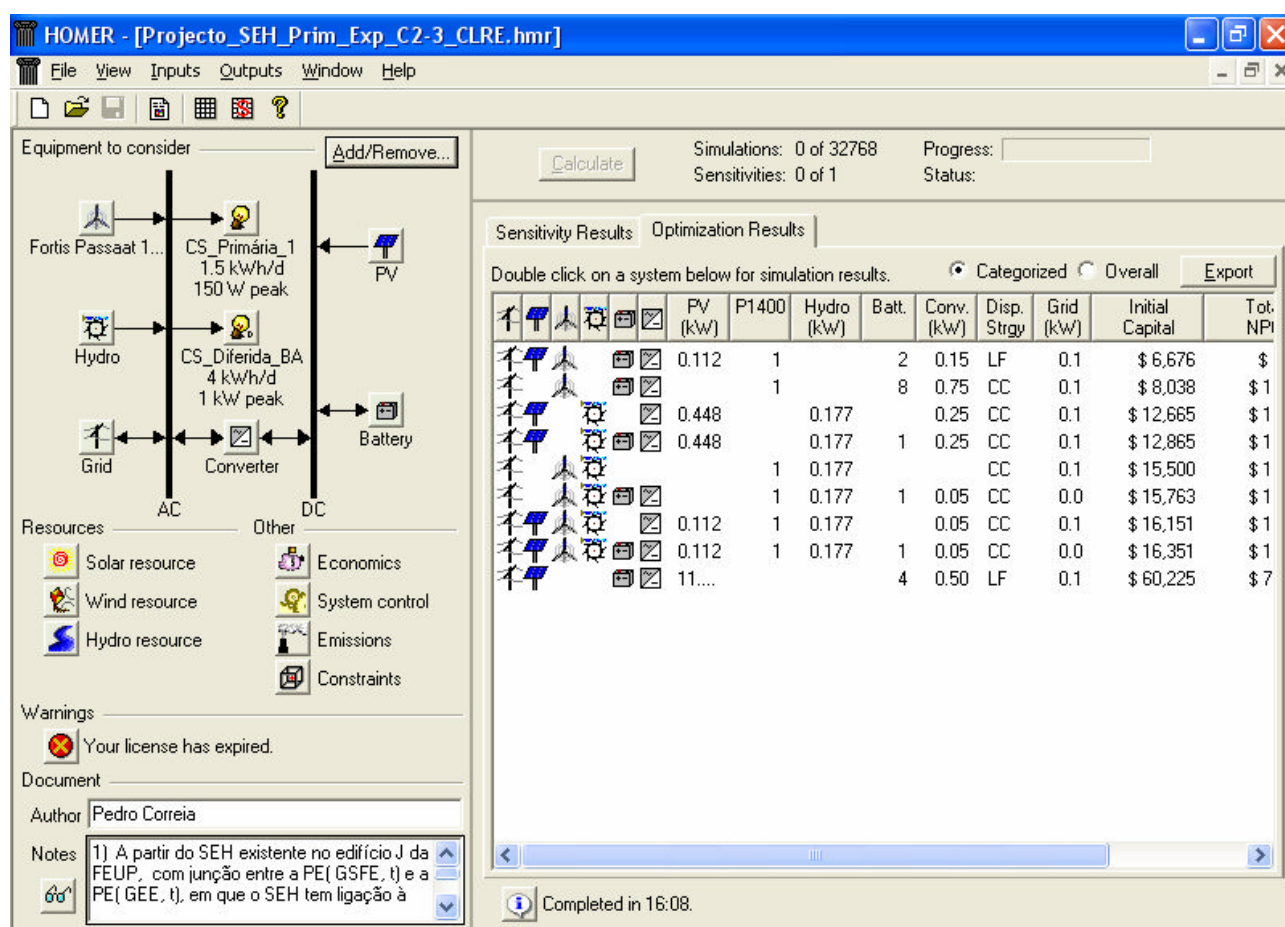


Figura A1.5.8: Janela de resultados de optimização do projecto de sistema energético «C2-3_CLRE»

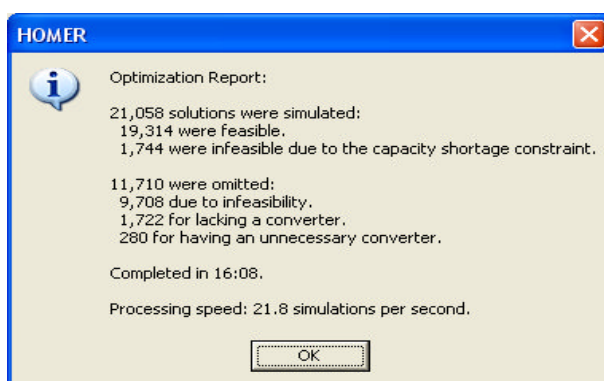


Figura A1.5.9: Janela de relatório de otimização do projecto de sistema energético «C2-3_CLRE»

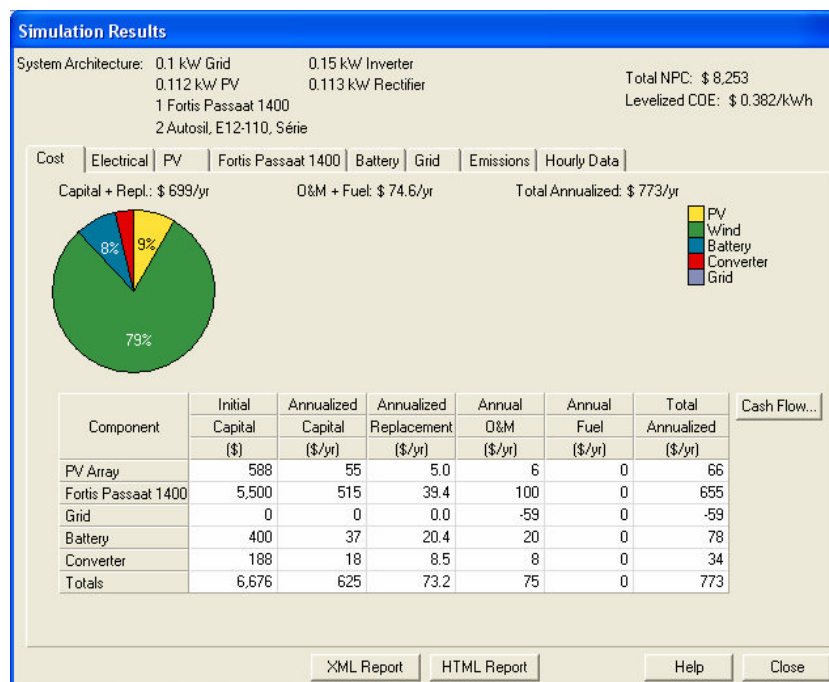


Figura A1.5.10: Parte da janela com custos da melhor configuração do projecto «C2-3_CLRE»

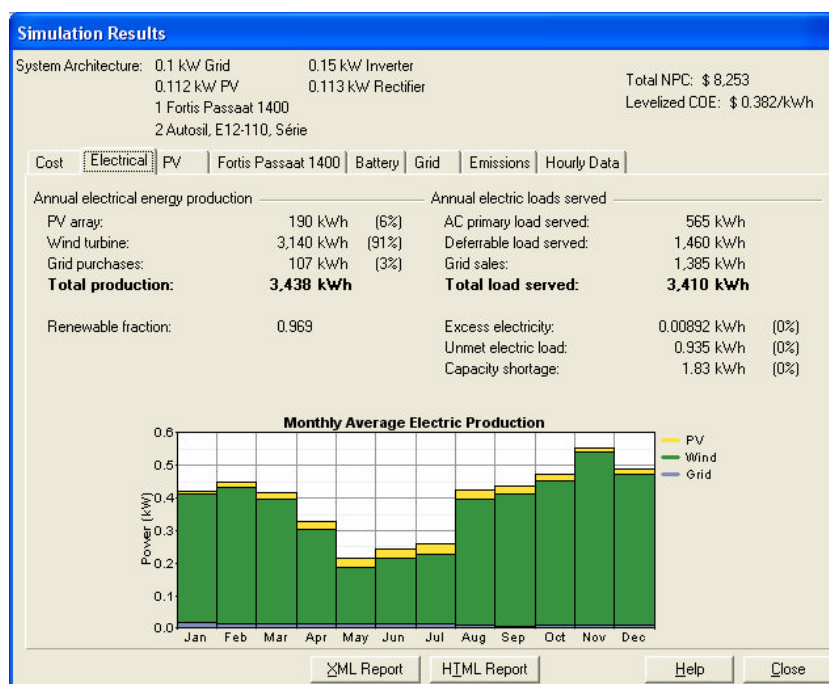


Figura A1.5.11: Parte da janela com resultados de electricidade da melhor configuração do projecto «C2-3_CLRE»

A1.6 - Imagens dos estudos de sensibilidade para parâmetros de recursos energéticos

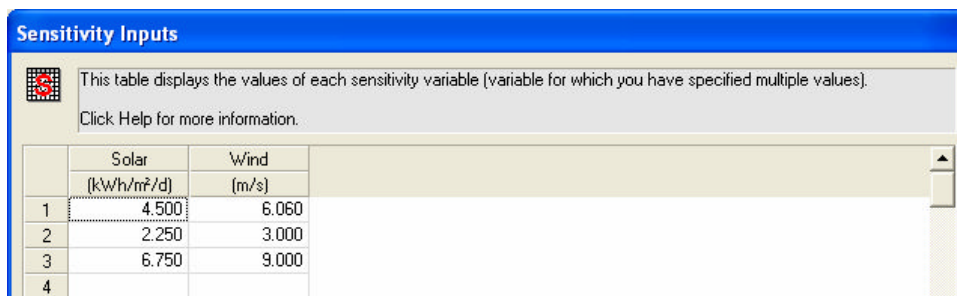


Figura A1.6.1: Janela de introdução de dados para os parâmetros de sensibilidade nos projectos do SEH existente

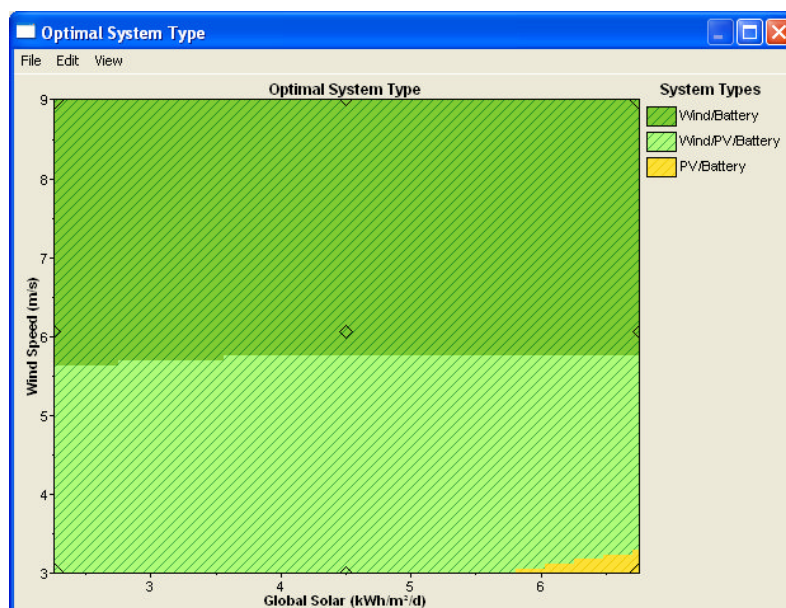


Figura A1.6.2: Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA e da VV_MA, para o projecto do SEH existente com o código «C2-1_SLRE_1»

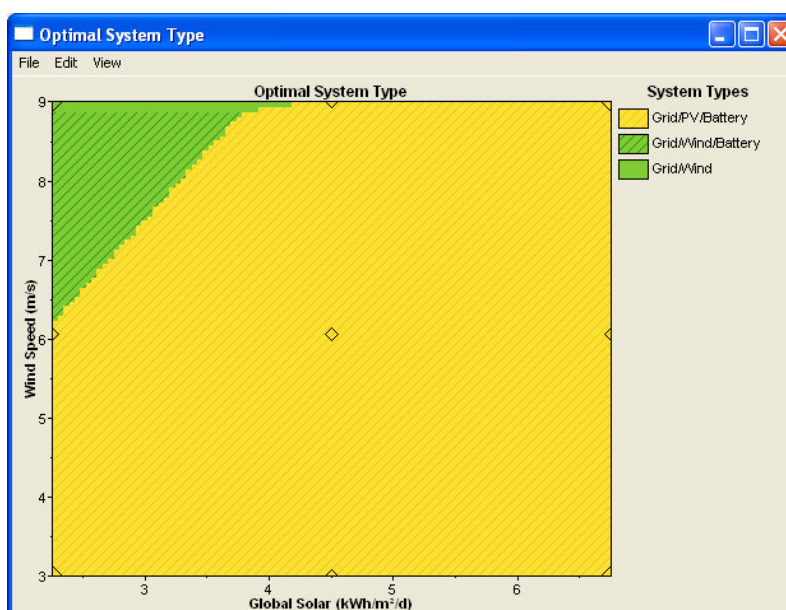


Figura A1.6.3: Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA e da VV_MA, para o projecto do SEH existente com o código «C2-2_CLRE_2»

Sensitivity Inputs

This table displays the values of each sensitivity variable (variable for which you have specified multiple values).
Click Help for more information.

	Solar (kWh/m ² /d)	Wind (m/s)	Stream Flow (L/s)
1	4.500	6.060	5.2
2	2.250	3.000	2.5
3	6.750	9.000	7.5
4			

Figura A1.6.4: Janela de introdução de dados para os parâmetros de sensibilidade nos projectos do SEH da primeira expansão

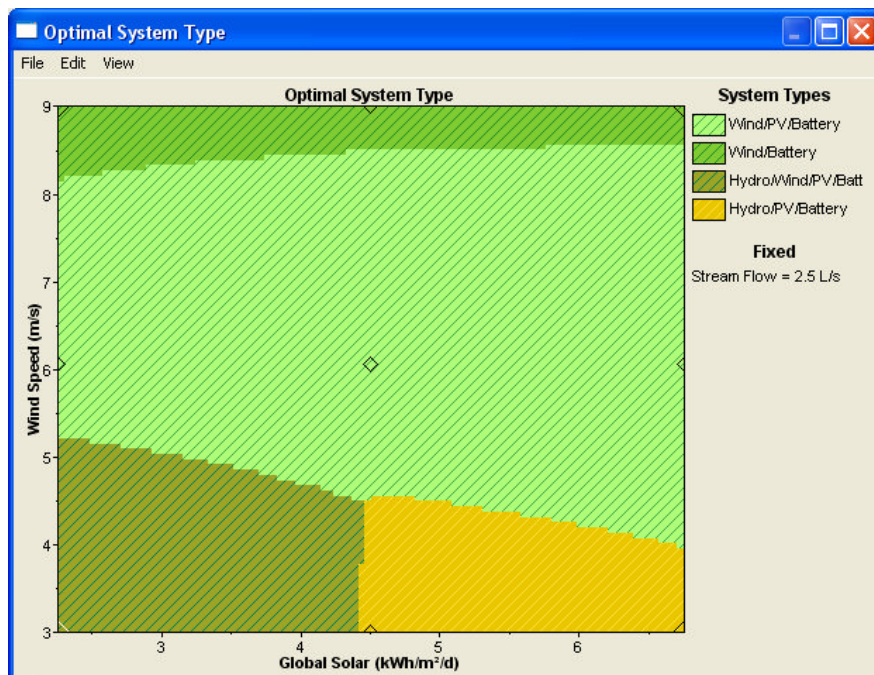


Figura A1.6.5: Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA, da VV_MA e do CCA_MA, estando fixado CCA_MA = 2,5 [l/s], para o projecto do SEH da 1ª expansão «C2-1_SLRE»

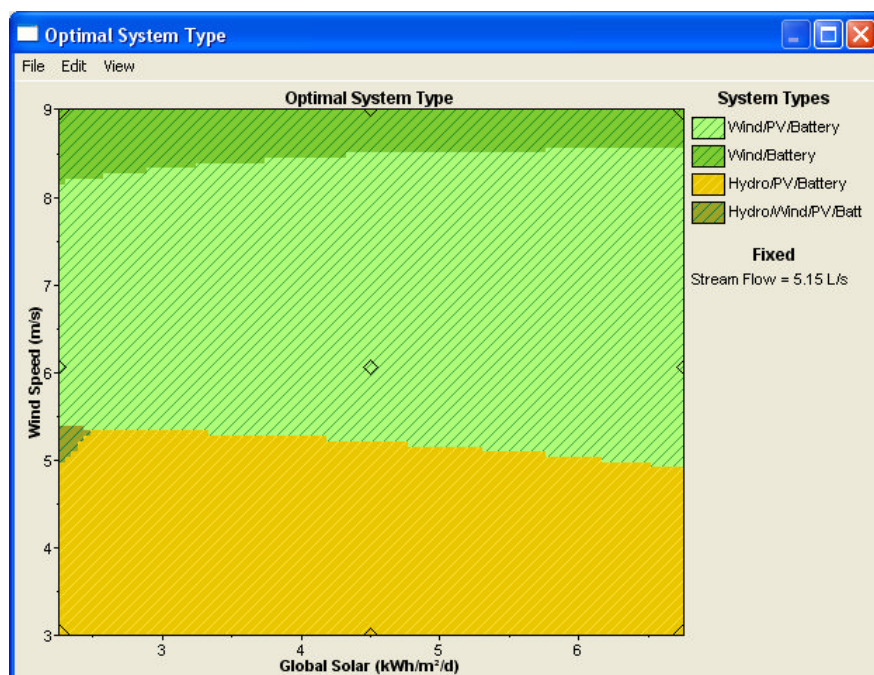


Figura A1.6.6: Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA, da VV_MA e do CCA_MA, estando fixado CCA_MA = 5,15 [l/s], para o projecto do SEH da 1ª expansão «C2-1_SLRE»

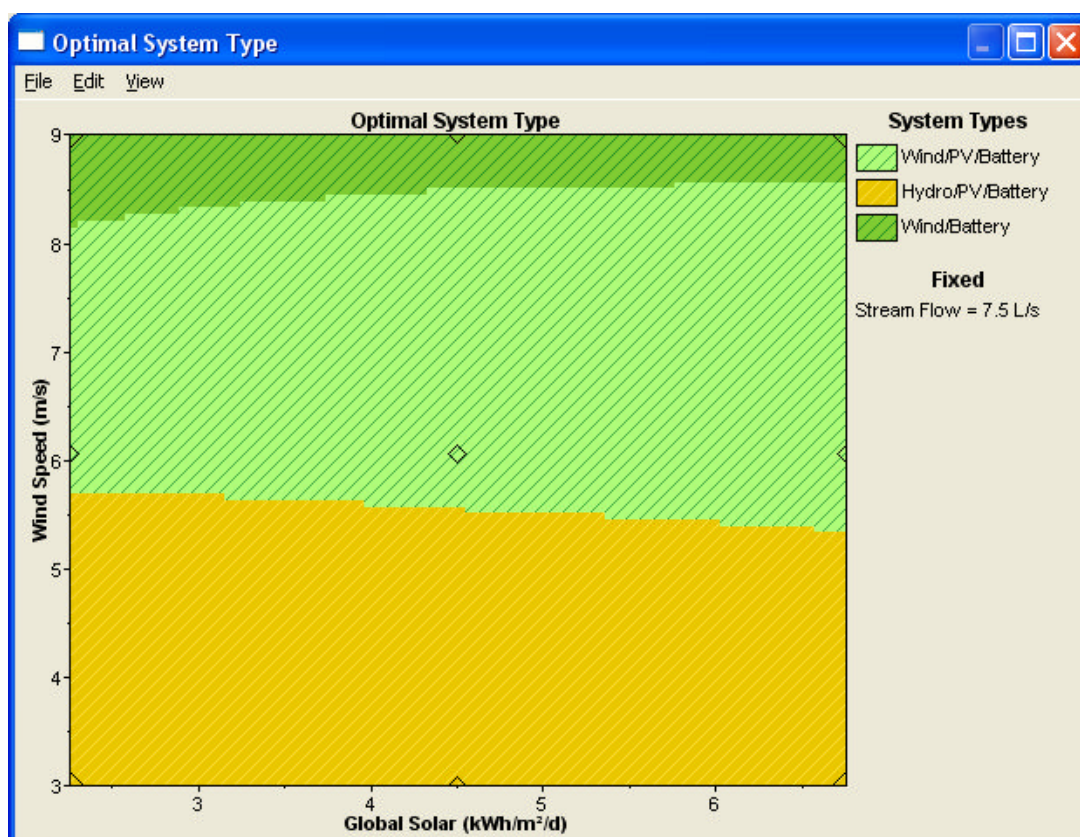


Figura A1.6.7: Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA, da VV_MA e do CCA_MA, estando fixado CCA_MA = 7,5 [l/s], para o projecto do SEH da 1ª expansão «C2-1_SLRE»

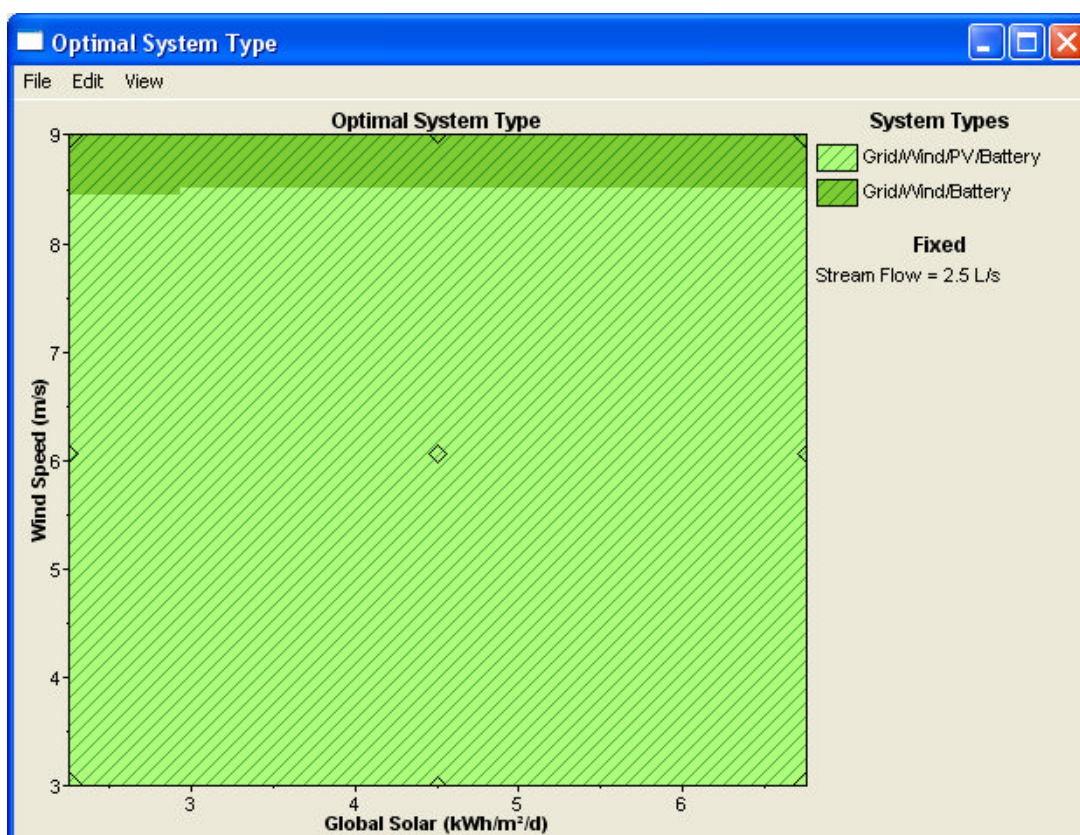


Figura A1.6.8: Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA, da VV_MA e do CCA_MA, estando fixado CCA_MA = 2,5 [l/s], para o projecto do SEH da 1ª expansão «C2-3_CLRE»

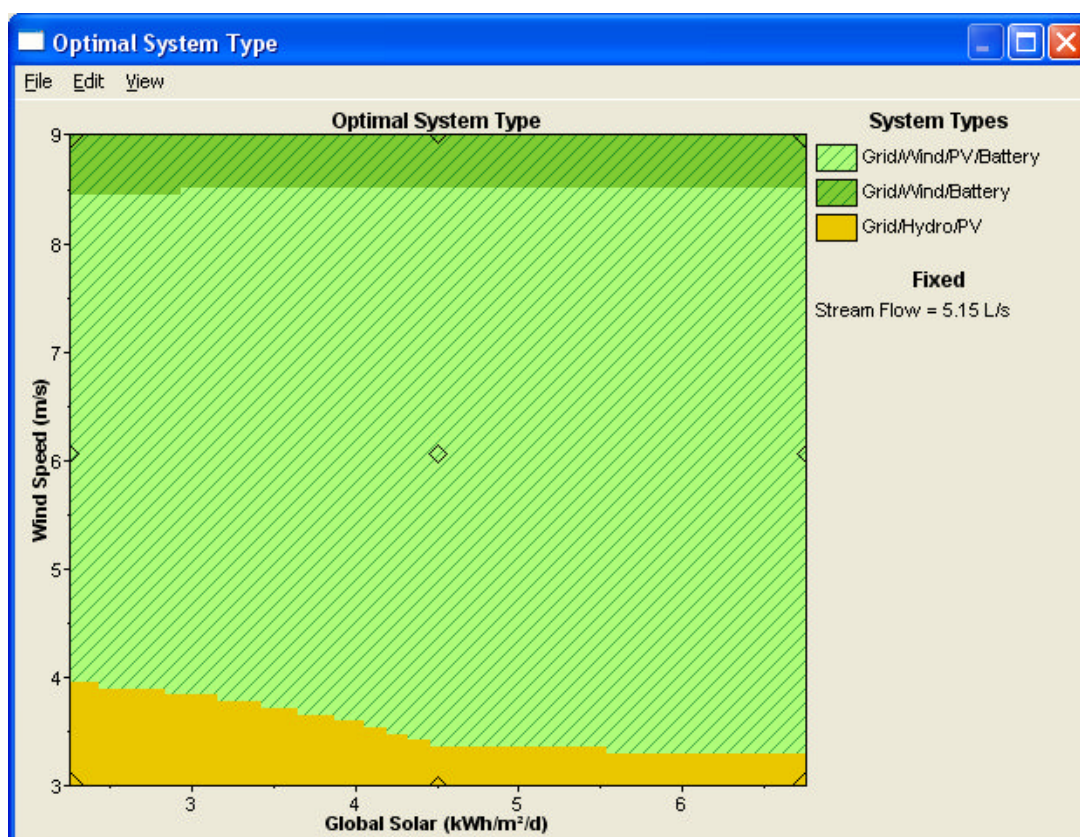


Figura A1.6.9: Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA, da VV_MA e do CCA_MA, estando fixado CCA_MA = 5,15 [l/s], para o projecto do SEH da 1ª expansão «C2-3_CLRE»

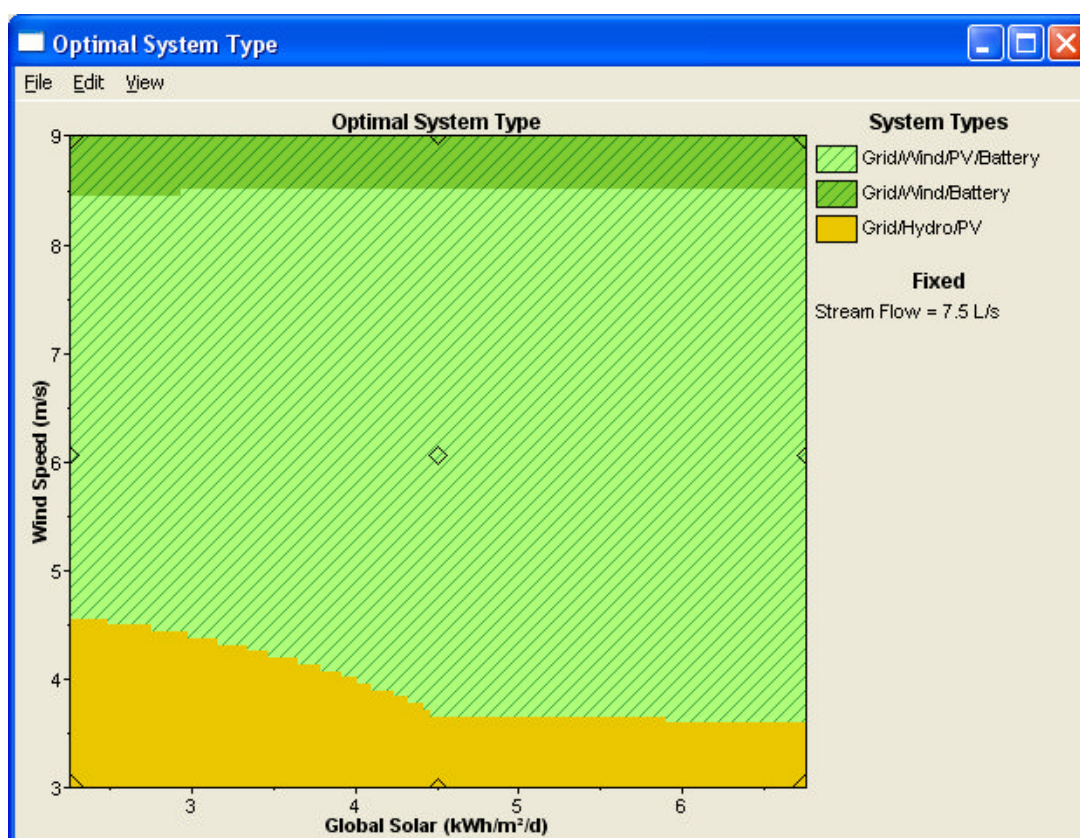


Figura A1.6.10: Janela de gráfico do tipo de sistema energético óptimo, em função da IRSGD_MA, da VV_MA e do CCA_MA, estando fixado CCA_MA = 7,5 [l/s], para o projecto do SEH da 1ª expansão «C2-3_CLRE»

Anexo 2 - Glossário

Energia → pode-se definir como a capacidade de produzir trabalho físico, ou seja, a capacidade para movimentar alguma coisa e a realização de algum tipo de movimento em alguma coisa que pode ter um tamanho desde o muito pequeno (por exemplo, uma partícula sub-atómica) até ao muito grande (por exemplo, uma estrela).

A lei da conservação da massa-energia estabelece que a quantidade total de massa-energia não sofre alteração no Universo, ou num sistema isolado que faça parte do Universo. Num sistema isolado em que não há reacções nucleares, isto significa que as quantidades totais de massa e de energia são constantes. A energia é geralmente conservada e existe num certo número de formas equivalentes.

Energia eléctrica → é uma forma-de-energia que se baseia no movimento de cargas eléctricas e que está vinculada ao estado eléctrico dos átomos do material considerado. O material encontra-se no estado neutro quando há igualdade de cargas positivas e negativas no seu interior, encontra-se no estado positivo quando há défice de electrões, e encontra-se no estado negativo quando existe excesso de electrões. Esses estados levam ao aparecimento de forças eléctricas de atracção e de repulsão, dependentes do sinal das cargas. O deslocamento de electrões no interior do material provoca a aparição da chamada corrente eléctrica, a qual origina efeitos físicos diversos, tais como o efeito de “Joule” (ou efeito calorífico), a electrólise (ou efeito químico) e a indução magnética (ou efeito magnético). A corrente eléctrica pode propagar-se de duas maneiras que são a corrente contínua e a corrente alternada.

Energia ‘electrolítica’ → é uma forma energética de transição entre energia eléctrica e energia química, a qual também se pode designar por energia electroquímica do electrólito. Esta forma-de-energia consiste na carga eléctrica existente nas moléculas do electrólito que tiveram uma transformação química por acção da corrente eléctrica. As moléculas do electrólito com carga eléctrica designam-se por iões, e podem movimentar-se no electrólito.

Energia eólica → é uma forma-de-energia existente no vento que é a corrente de ar da atmosfera terrestre. Esta forma-de-energia resulta da conversão da energia solar que provoca diferentes variações de temperatura e pressão do ar entre vários locais da superfície terrestre, e consequentemente faz mover as massas de ar.

Energia hídrica → é uma forma-de-energia que se manifesta com a força gravítica exercida na massa física da água pelo campo gravítico terrestre. Esta forma-de-energia pode-se designar por energia gravítica da água, e subdividir em:

- energia hídrica potencial, a qual se caracteriza pela posição da água relativamente a uma posição de referência no campo gravítico terrestre;
- energia hídrica cinética, que se caracteriza pelo movimento da água por acção da gravidade terrestre.

Energia ‘hidrogénica’ → é uma forma energética que está contida na composição química do gás de hidrogénio (H_2) o qual é muito inflamável e liberta bastante energia quando é feita a sua combustão. Esta forma-de-energia também pode ser designada por energia química do hidrogénio.

Energia solar → é uma forma-de-energia existente na radiação (electromagnética) proveniente da estrela Sol. Essa radiação é constituída basicamente por três tipos de radiação que são a radiação infravermelha, a radiação de luz visível, e a radiação ultravioleta.

Fonte de energia → pode ter dois significados que são os seguintes:

- 1) é uma forma inicial de energia para um processo de transformação energética. Por exemplo, o petróleo é uma forma inicial de energia, que é extraída directamente da natureza, e pode ser transformado em gasóleo que é uma forma de energia química artificial obtida por meio de reacções químicas, ou em energia térmica por meio de combustão, ou noutra forma-de-energia.
- 2) é o local onde existe e se pode obter uma forma-de-energia inicial. Por exemplo, uma cavidade subterrânea que contém petróleo, o qual pode ser obtido através de um poço e utensílios de extracção.

Uma designação alternativa, para fonte de energia, é fonte energética.

Forma-de-energia → é a maneira como se manifesta a energia na realidade. Algumas formas-de-energia são a energia solar, a energia eólica, a energia hídrica, a energia calorífica, a energia eléctrica, a energia mecânica, entre outras.

Algumas designações alternativas, para forma-de-energia, são:

- forma de energia;
- forma energética.

Objecto físico de energia → é alguma coisa ou uma propriedade dessa coisa que existe na realidade física e que se pode associar à manifestação de uma forma-de-energia. Por exemplo, a massa física da água está associada à energia gravítica da água, e a temperatura da água está associada à energia térmica da água.

Período de tempo horário → é o tempo cronológico decorrido entre dois instantes em que a unidade de medida de referência é a hora.

Processo transformativo de energia → é a sucessão de formas-de-energia que se obtêm na transformação da energia através de vários dispositivos e meios. Por exemplo, o processo fotovoltaico em que a forma-de-energia inicial é a energia (radiante) solar a qual é transformada para energia eléctrica que é forma-de-energia final, por meio de um painel fotovoltaico.

Algumas designações alternativas, para processo transformativo de energia, são:

- processo de transformação de energia;
- processo de transformação energética;
- processo transformativo energético.

‘Teia Informática’ → é um serviço telemático (ou de telecomunicações e informática) prestado numa rede informática, o qual disponibiliza informação por meios automáticos e com o formato de hipertexto. O hipertexto é constituído por hiperligações as quais são apontadores que apontam para o texto de uma mesma página ou de outras páginas que estão no mesmo sítio ou em outros sítios, formando assim uma teia (ou entrelaçamento) de informação. O protocolo principal deste serviço telemático é o ‘protocolo de transferência de hipertexto’ ←(P,I)— “hypertext transfer protocol” (“HTTP”). A expressão ‘Teia Informática’ ←(P,I)— “Web”) é um neologismo que deriva de uma simplificação da expressão ‘Teia Alargada Mundial’ ←(P,I)— “World Wide Web” (“WWW”).

Tempo climático → é o estado da atmosfera terrestre num determinado intervalo de tempo, e este estado é caracterizado pelo comportamento dos correspondentes elementos climáticos, tais como temperatura do ar, humidade do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica, intensidade da radiação solar, entre outros parâmetros.

Para tempo climático, algumas designações alternativas são:

- tempo atmosférico;
- tempo meteorológico.

Tempo cronológico → pode ser definido como uma sucessão de acontecimentos de um movimento cíclico, cujo ciclo repetitivo tem uma duração constante e serve como referência na marcação e contagem da mudança de alguma coisa. Por exemplo, o movimento do ponteiro dos minutos de um relógio é um movimento cíclico cujo ciclo, que é a rotação completa do ponteiro, tem uma duração constante de uma hora. Outros exemplos:

- o movimento de rotação do planeta Terra em torno do seu próprio eixo, que tem a duração de um dia;
- o movimento de translação do planeta Terra em torno da estrela Sol, que tem a duração de um ano;
- o movimento do ponteiro das horas de um relógio, cujo ciclo tem a duração constante de doze horas.

Para tempo cronológico, algumas designações alternativas são:

- tempo físico;
- tempo horário.

Anexo 3 - Características do equipamento de sistema energético existente na FEUP

A3.1 - Dispositivos fora do compartimento e sobre a cobertura no topo do edifício J da FEUP

1) GEE → gerador ‘eolo-eléctrico’, que se pode também designar por aerogerador:

- Marca: “Fortis”
- Modelo: “Passaat 1400”
- Intervalo da velocidade do vento (VV) para o seu funcionamento: [2,5; 25] [m/s]
- Potência eléctrica máxima: 1.400 [W], para $VV \in [16; 18]$ [m/s]
- Potência eléctrica: 1.000 [W], para $VV = 12$ [m/s]
- Tensão eléctrica: 24 [V]
- Características da turbina eólica:
 - Tipo: Rótor de turbina anterior ao gerador no sentido do vento ($\leftarrow(P,I)\rightarrow$ “upwind”), com ângulo de passo (das pás) fixo
 - Diâmetro do rótor de turbina: 3,12 [m]
 - Área de varrimento: 7,65 [m²]
 - Número de pás: 3
 - Comprimento de cada pá: 1,50 [m]
 - Material das pás: Fibra de vidro reforçada com poliéster
 - Sentido de rotação: Sentido horário (ou dos ponteiros do relógio)
 - Velocidade de rotação média: Variável, [180; 775] [rot/min]
- Características do gerador eléctrico:
 - Tipo: Síncrono, de ímanes permanentes, e trifásico
 - Sistema de travagem: Curto-circuito do gerador
 - Controlo de guinagem: Alinhamento passivo pelo leme da cauda
- Outras características: (Não tem caixa de engrenagens para mudança de velocidade entre o rótor de turbina e o rótor de gerador; Não tem mecanismo de travagem)

2) GSFE → gerador ‘solar-foto-eléctrico’, que se pode também designar por arranjo de painéis fotovoltaicos, ou arranjo de módulos fotovoltaicos:

- Marca: “Kaneka”
- Modelo: “LSU202”
- Quantidade de módulos (ou painéis) fotovoltaicos: 2
- Inclinação dos módulos fotovoltaicos: (Aprox.) 25 [°]
- Orientação geográfica dos módulos fotovoltaicos: (Aprox.) Sul
- Localização geográfica dos módulos fotovoltaicos:
 - Latitude: (41°; 10’; 42,90’’ $\pm$ 0,05’’; Norte)
 - Longitude: (8°; 35’; 43,60’’ $\pm$ 0,05’’; Oeste)
- Tipo de módulo fotovoltaico (FV): Módulo FV de silício de película fina $\leftarrow(P,I)\rightarrow$ “Thin-film silicon PV module”
- Dimensões de um módulo FV (Largura; Altura; Espessura): (920; 920; 40) [mm]
- Características do módulo (ou painel) FV 1:
 - Versão: “CEA”
 - Potência eléctrica nominal de saída: 54 [W]

- Tensão eléctrica de circuito aberto: 85,0 [V]
 - Intensidade de corrente eléctrica de curto-circuito: 1,14 [A]
 - Tensão eléctrica no ponto de potência máxima (PPM): 62,0 [V]
 - Intensidade de corrente eléctrica no PPM: 0,87 [A]
 - Características do módulo FV 2:
 - Versão: “CJA”
 - Potência eléctrica nominal de saída: 58 [W]
 - Tensão eléctrica de circuito aberto: 85,0 [V]
 - Intensidade de corrente eléctrica de curto-circuito: 1,12 [A]
 - Tensão eléctrica no ponto de potência máxima (PPM): 63,0 [V]
 - Intensidade de corrente eléctrica no PPM: 0,92 [A]
- 3) PL → projector de luz, que se pode também designar por holofote:
- Marca: “Qualite”
 - Modelo: ?
 - Tensão eléctrica em CA: 230 [V]
 - Frequência: 50 [Hz]
 - Potência eléctrica (consumida): [70; 150] [W]
 - Outras características: ?
- 4) DM1 → dispositivo medidor 1, que se pode também designar por anemómetro:
- Marca: “Thies Clima”
 - Modelo: ?
 - Tipo de anemómetro: De copos, ou de semi-esferas ocas, para a peça rotativa
 - Intervalo de medição da velocidade do vento (VV): [0,5; 50] [m/s]
 - Precisão de medição da VV: < 0,1 [m/s]
- 5) DM2 → dispositivo medidor 2, que se pode também designar por mini-estação meteorológica:
- Marca: ?
 - Modelo: ?
 - Componentes:
 - C1-DM2 → módulo (ou painel) fotovoltaico
 - C2-DM2 → caixa de dispositivos
 - C3-DM2 → dispositivo no meio da estrutura, que é um sensor de piranómetro
 - C4-DM2 → dispositivo no topo da estrutura, que é um multi-sensor meteorológico
 - Características do componente C1-DM2:
 - Marca: ?
 - Utilidade: Fornecimento de energia eléctrica
 - Outras características: ?
 - Características do componente C2-DM2:
 - Marca: “HES”
 - Utilidade: Protecção e abrigo de dispositivos
 - Componentes:
 - C2.1-DM2 → registador de dados
 - C2.2-DM2 → dispositivo de comunicação de dados por antena
 - C2.3-DM2 → bateria electroquímica
 - Características do componente C3-DM2:
 - Marca: “Apogee”, “Logan UT”
 - Modelo: “PYR-P”
 - Utilidade: Medição da radiação solar

- Sinal eléctrico de saída do sensor:
 - Intervalo de medição: [0; 350] [mV] correspondendo a [0; 1.750] [W/m²]
 - Variação mínima de resposta: 0,200 [mV] por 1 [W/m²]
- Características do componente C4-DM2:
 - Marca: “Vaisala”
 - Modelo: “WXT510”
 - Utilidade: Medição de seis parâmetros de tempo climático (ou meteorológicos) mais importantes num único instrumento
 - Medição da velocidade do vento:
 - Escala de medição: [0; 60] [m/s]
 - Precisão: $\pm 0,3$ [m/s] ou ± 3 %, o que for maior, para [0; 35] [m/s]; ± 5 %, para [36; 60] [m/s]
 - Medição da direcção do vento:
 - Escala de medição: [0; 360] [°]
 - Precisão: ± 3 [°]
 - Medição da temperatura do ar:
 - Escala de medição: [-52; +60] [°C]
 - Precisão: $\pm 0,3$ [°C], para +20 [°C]
 - Medição da pressão atmosférica (ou barométrica):
 - Escala de medição: [600; 1.100] [h.Pa]
 - Precisão: $\pm 0,5$ [h.Pa], para [0; 30] [°C]; ± 1 [h.Pa], para [-52; +60] [°C]
 - Medição da humidade atmosférica relativa:
 - Escala de medição: [0; 100] [%.RH]
 - Precisão: ± 3 [%.RH], para [0; 90] [%.RH]; ± 5 [%.RH], para [90; 100] [%.RH]
 - Medição da precipitação de água:
 - Volume de chuva: Valor cumulativo depois da última re-inicialização automática ou manual
 - Precisão: ± 5 %
 - Duração de chuva: Contagem de incrementos de 10 [s] após a detecção de gotículas
 - Intensidade de chuva: Média a cada minuto de ocorrência em estágios de dez segundos
- Outras características: (Tem uma estrutura metálica que se apoia num tripé; Tem uma ligação ao computador 2 (C2) por meio de um cabo de dados, mas podia ligar-se a esse computador usando o dispositivo de comunicação de dados por antena (C2.2-DM2))

A3.2 - Dispositivos dentro do compartimento no topo do edifício J da FEUP

A3.2.1 - Dispositivos afixados na parede

- 1) C_CC_CA_1 → conversor de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), de índice 1, que se pode também designar por inversor 1:
 - Marca: “Victron Energy”
 - Modelo: “Phoenix 24/900”
 - Utilidade: Era é usado para o circuito eléctrico do gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE). Servia para ligar as baterias ao projector de luz (PL). Não está a ser usado!
 - Tensão eléctrica de entrada em CC: 24 [V]
 - Potência eléctrica máxima convertível: 900 [W]
 - Outras características: (P30 = 1000 [W]; - Tipo de onda de saída: Onda sinusoidal)

- 2) DCGE → dispositivo controlador de grandezas eléctricas e conversor do tipo de corrente eléctrica, que se pode também designar por ‘painel de controlo’ (←(P,I)— “control panel”):
 - Marca: “Fortis”
 - Modelo: “ARK-IV-60-24”
 - Utilidade: Controlo de tensão e corrente provenientes do gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE)
 - Funções:
 - Função 1: Ligar o gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE) às baterias (CBEQ), à resistência ‘electro-térmica’ de despejo (RETD), ao dispositivo de quadro eléctrico especial do SEH (DQ) e talvez ao inversor 1 (C_CC_CA_1);
 - Função 2: Converter o tipo de corrente eléctrica do gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE), que é em corrente alternada (CA), para corrente contínua (CC);
 - Função 3: Proteger o conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ) contra sobrecarga;
 - Função 4: Medir a corrente de carregamento e a tensão do conjunto de baterias electroquímicas (CBEQ).
 - Tensão eléctrica de saída em CC: 24 [V]
 - Intensidade de corrente eléctrica máxima de saída em CC: 60 [A]
 - Outras características: (Contém um rectificador e um regulador de tensão; O regulador de tensão pode ser ajustado até 28,2 [V])

- 3) RETD → resistência ‘electro-térmica’ de despejo, que se pode também designar por «carga de derivação», ou ‘carga de despejo’ (←(P,I)— “dump load”):
 - Marca: “Fortis”
 - Modelo: ?
 - Utilidade: Despejo (←(P,I)— “dumping”) do excesso de energia eléctrica proveniente do gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE), convertendo-a em energia calorífica
 - Tensão eléctrica em CC: 24 [V]
 - Intensidade de corrente eléctrica máxima em CC: 60 [A]
 - Outras características: (Tem 2 fios com a forma helicoidal (ou de serpentina) para a resistência ‘electro-térmica’)

- 4) DQ → dispositivo de quadro eléctrico especial do compartimento para o SEH:
- Marca: “Hager”
 - Modelo: ?
 - Utilidade: Serve para a instalação eléctrica do SEH.
 - Outras características: ?
- 5) DM4 → dispositivo medidor 4, que se pode também designar por analisador trifásico de energia eléctrica:
- Marca: “Elcotronic”
 - Modelo: “EM3D”
 - Utilidade: Medição de grandezas eléctricas (tensão, corrente, e outras grandezas) à saída do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE) no respectivo cabo eléctrico trifásico
 - Outras características: (- Consumo eléctrico: 2 [V.A]; - Escalas de mudança automática: 3 escalas de tensão e 4 escalas de corrente; - Tipo de medição: Em verdadeiro valor eficaz (‘VMQ’ ←(P,I)— “RMS”); - Método de medição: Recolha digital por amostragem; - Frequência de recolha: 4.800 [Hz]; - Precisão da medida: $\pm 0,3$ % sobre a medida e (+ 0,3) no fundo da escala; - Factor de crista: 1,7 para tensão e corrente de entrada; - Capacidade do módulo de memória “RAM”: 32 ‘quilo-octetos’ ←(P,I)— “kilobytes”; - Protocolo de transferência de dados para um computador: “RS232”, ou “RS485”)
- 6) DCD → dispositivo de comunicação de dados, que é uma tomada de rede informática:
- Tipo de conector: “RJ45”
 - Utilidade: Ligação de um computador à rede informática da FEUP
- 7) C_CC_CA_2 → conversor de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), de índice 2, que se pode também designar por inversor 2:
- Marca: “Sunny Boy”, “SMA”
 - Modelo: “SWR 700”
 - Utilidade: Serve para converter o tipo de corrente eléctrica de corrente contínua (CC), à saída do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE), para corrente alternada (CA).
 - Tensão eléctrica de saída em CA: 230 [V]
 - Frequência: 50 [Hz]
 - Intensidade de corrente eléctrica de saída em CA: 3 [A]
 - Potência eléctrica nominal de saída: 700 [W]
 - Intervalo de tensão eléctrica de entrada em CC: [125; 250] [V]
- 8) DM3 → dispositivo medidor 3, que se pode também designar por contador monofásico bi-horário de energia eléctrica:
- Marca: “ISKRA”
 - Modelo: “ME420-D1A51-M2K0”
 - Utilidade: Contagem da energia eléctrica entregue à rede eléctrica da FEUP, proveniente do gerador ‘solar-foto-eléctrico’ (GSFE)
 - Tensão eléctrica: 230 [V]
 - Intensidade de corrente eléctrica: 10 [A]
 - Frequência: 50 [Hz]
 - Outras características: (RLW = 1000 [imp/(kW.h)])

A3.2.2 - Dispositivos sobre a mesa pequena

- 1) DA1 → dispositivo armazenador de energia, de índice 1, que é uma bateria electroquímica (ou eléctrica):
 - Marca: “Autosil”
 - Modelo: “E12-110”, Série E
 - Utilidade: Armazenamento de energia ‘electrolítica’ proveniente de energia eléctrica produzida pelo gerador ‘eolo-eléctrico’ (GEE)
 - Tensão eléctrica em CC: 12 [V]
 - Capacidade de armazenamento de energia: 110 [A.h], durante 100 [h]
 - Material: Placas de chumbo (Pb)
 - Outras características: (Bateria industrial fabricada para sistemas de energias alternativas; Acumulador estacionário de baixa manutenção; Grelhas feitas com ligas de chumbo e com baixo teor antimónio; Separadores de tipo bolsa, feitos com lã de vidro de elevada porosidade, com poros de dimensões microscópicas, indestrutíveis pelos processos de corrosão normais; Ligações entre elementos obtidos por electro-soldadura, através das divisórias das caixas; Caixa e tampa são de polipropileno especial, que é injectado, e são termo-soldadas; Rolhas especiais microporosas com retenção do electrólito; Pequeno autodescarregamento, inferior a 3% por mês)
- 2) DA2 → dispositivo armazenador de energia, de índice 2, que é uma bateria electroquímica:
[Tem as características iguais às de DA1.]

A3.2.3 - Dispositivos sobre uma mesa grande

- 1) CXC2 → caixa-de-computador 2, que é do computador mais novo (C2):
 - Marca: “Clausus”
 - Modelo: ?
 - Utilidade: Processamento e armazenamento de dados provenientes dos dispositivos medidores de tempo climático e de outros dispositivos
 - Outras características: ?
- 2) MNT2 → monitor 2, que está ligado a CXC2:
 - Marca: ?
 - Modelo: ?
 - Tipo de monitor: Visualização de cristais líquidos
 - Outras características: ?
- 3) TCD2 → teclado 2, que está ligado a CXC2:
 - Marca: ?
 - Modelo: ?
 - Outras características: (Configuração de teclas em português; Com fios na comunicação de dados)

- 4) RTC2 → rato de computador 2, que está ligado a CXC2:
- Marca: ?
 - Modelo: ?
 - Outras características: (Óptico; Com fios na comunicação de dados; Com dois botões e uma roda)
- 5) DRD → dispositivo registador de dados:
- Marca: “Eltex of Sweden”
 - Modelo: “Mätman Combi”
 - Utilidade: Registamento dos dados provenientes do anemómetro (DM1) e transferência desses dados para o computador 2 (C2)
 - Outras características: ?
- 6) DCDA → dispositivo de comunicação de dados por antena:
- Marca: “Siemens”
 - Modelo: “TC35i”
 - Utilidade: Comunicação de dados por antena entre o computador 2 (C2) e a mini-estação meteorológica (DM2)
 - Outras características: ?