



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Luís Francisco da Costa Mestre Gonçalves

**AUMENTO DA CAPACIDADE DE INTEGRAÇÃO DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM EDIFÍCIOS
RESIDENCIAIS COM RECURSO AO
ARMAZENAMENTO DE ENERGIA E À GESTÃO DO
CONSUMO**

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Ramo de Energia orientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge e apresentada no Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Coimbra, 2020

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D COIMBRA

Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Faculdade de
Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

AUMENTO DA CAPACIDADE DE INTEGRAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS COM RECURSO AO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA E À GESTÃO DE CONSUMO

Luís Francisco da Costa Mestre Gonçalves

Presidente do Júri:

Professor Doutor Jaime Baptista dos Santos

Orientador:

Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge

Vogal:

Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes

Coimbra, 2020

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de manifestar o apreço e especial agradecimento ao meu orientador Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge, por ter sido incansável a todos os níveis ao longo de todo este percurso. Agradeço a paciência, compreensão e disponibilidade que teve comigo.

Em segundo lugar, agradeço aos meus pais, Francisco e Margarida, pelos conselhos, pela motivação e orientação durante todo o meu percurso académico. Estiveram sempre presentes, e por isso sei que posso contar com eles para tudo.

Agradeço também à minha irmã, Catarina, aos meus avós paternos, Avó Ana e Avô Acácio, e também aos meus avós maternos, Avó Lorena e Avô Augusto, por terem apoiado sempre de uma forma ou de outra. Também não posso deixar de mencionar a restante família, por todo o apoio demonstrado, não só durante o meu percurso académico, como ao longo da minha vida.

Por fim gostaria de agradecer aos meus colegas e amigos que sempre estiveram presentes, nos bons e maus momentos, e que foram fundamentais para que conseguisse terminar esta etapa.

Muito obrigado.

Resumo

A integração de energias renováveis em edifícios, especialmente a energia solar fotovoltaica, tem sido uma das principais preocupações do sector energético. Nesse sentido, em ambiente residencial, há a necessidade de procurar formas de maximizar o autoconsumo da energia produzida, bem como aumentar a autossuficiência no que respeita às necessidades energéticas do edifício, particularmente com recurso a sistemas Solar PV e Baterias.

Portugal é considerado dos países Europeus com maior potencial de exploração de energia renovável de fonte solar, e por isso tem vindo a apostar neste recurso nos últimos anos.

Neste trabalho é feita uma introdução do estado da arte sobre a produção fotovoltaica em Portugal, e uma abordagem ao autoconsumo e à legislação que lhe diz respeito (Decreto-Lei nº162-2019). Além disso, é feito um estudo sobre o Home Energy Management System (HEMS), no qual as suas funcionalidades e características são exploradas.

Utilizou-se um estudo de caso, tendo a finalidade de demonstrar o impacto da aplicação de sistemas solares fotovoltaicos para autoconsumo a nível residencial de forma a explorar configurações de produção e armazenamento com baterias, no sentido de aumentar a autossuficiência energética e ao mesmo tempo garantir um elevado autoconsumo da produção realizada. Foi feita uma discussão dos resultados, através da formulação de diversos cenários, onde são combinadas várias capacidades de armazenamento (2kWh, 4kWh, 6kWh, 8kWh e 10kWh) com várias capacidades de produção (750W, 1000W, 1250W e 1500W). A análise foi feita com base em certos indicadores energéticos, tais como: estado de carga das baterias, número de horas em que estão à carga mínima e à carga máxima, quantidade de energia injetada, e nível de autossuficiência, entre outros. Tendo em conta estes indicadores, fez-se um estudo mensal e anual, tendo em atenção aspetos sazonais, tanto da produção como do consumo.

Por fim, os resultados obtidos demonstram que um bom dimensionamento energético do sistema produtor e do sistema de armazenamento, pode conduzir a uma autossuficiência energética do consumidor que seja economicamente satisfatória.

Palavras-Chave: Energias Renováveis; Energia Solar Fotovoltaica; Sistemas para Autoconsumo; Controlo do Consumo de Energia; Sistemas de Armazenamento de Energia; HEMS.

Abstract

The integration of renewable energy into buildings, especially photovoltaic solar energy, has been a major concern of the energy sector. In this sense, in a residential environment, there is a need to look for ways to maximize the self-consumption of the energy produced, as well as increase self-sufficiency with regard to the energy needs of the building, particularly with the use of Solar PV systems and Batteries.

Portugal is considered to be one of the European countries with the greatest potential for the exploitation of renewable energy from a solar source, and for this reason it has been investing in this resource in recent years.

This work introduces the state of the art on photovoltaic production in Portugal, and makes an approach to self-consumption and the legislation that concerns it (Decreto-Lei No. 162-2019). In addition, a study is done on the Home Energy Management System (HEMS), in which its functionalities and features are explored.

A case study was used to demonstrate the impact of the application of solar photovoltaic systems for self-consumption at residential level in order to explore production and storage configurations with batteries, so as to increase energy self-sufficiency and at the same time ensure a high self-consumption of production performed. A discussion of the results was made through the formulation of several scenarios, where several storage capacities (2kWh, 4kWh, 6kWh, 8kWh and 10kWh) are combined with various production capacities (750W, 1000W, 1250W and 1500W). The analysis was based on certain energy indicators, such as: battery charge status, number of hours in which they are at minimum load and maximum charge, amount of energy injected, and level of self-sufficiency, among others. Taking into account these indicators, a monthly and annual study was conducted, taking into account seasonal aspects of both production and consumption.

Finally, the results obtained show that a good energy dimensioning of the producer system and the storage system can lead to an economically satisfactory energy self-sufficiency of the consumer.

Keywords: Renewable Energy; Photovoltaic Solar Energy; Self-consumption Systems; Energy Consumption Control; Energy Storage Systems; HEMS.

Conteúdo

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT	V
CONTEÚDO	VII
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS	XIII
LISTA DE FIGURAS.....	XV
LISTA DE TABELAS.....	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. ESTRUTURA DE DISSERTAÇÃO	2
2. ENQUADRAMENTO	4
2.1. ENQUADRAMENTO NACIONAL	5
2.2. PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE COM ORIGEM EM FONTES RENOVÁVEIS.....	6
2.2.1. <i>Fatores Externos</i>	6
2.2.2. <i>Integração de Renováveis em Edifícios Residenciais</i>	7
2.3. GESTÃO DE ENERGIA.....	8
2.3.1. HEMS.....	8
2.3.1.1. <i>Arquitetura</i>	9
2.3.1.2. <i>Funcionalidades</i>	10
2.3.1.3. <i>Equipamentos Eletrodomésticos</i>	12
2.3.1.4. <i>Objetivos de um HEMS</i>	13
2.3.1.5. <i>Comunicação</i>	13
2.4. AUTOCONSUMO	14
2.4.1. <i>Sistemas de Autoconsumo</i>	15
2.4.2. <i>Sistemas de Armazenamento de Energia</i>	17
2.5. LEGISLAÇÃO DE AUTOCONSUMO EM PORTUGAL	18
3. ESPECIFICAÇÕES DO HEMS	20
3.1. MODELO DE CONTROLO	20
3.1.1. <i>Modelo de Armazenamento de Energia Elétrica</i>	20
3.1.2. <i>Modelo de Consumo de Energia Elétrica</i>	21
3.1.3. <i>Modelo de Agendamento dos Eletrodomésticos</i>	22
3.1.4. <i>Termoacumulador</i>	23
4. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE CONSUMO	25
4.1. PERFIL DE CONSUMO.....	25
4.2. PERFIL DE PRODUÇÃO.....	29
5. ESTUDO DE CASO	31
5.1. METODOLOGIA USADA NO TRATAMENTO DE DADOS	31

5.2. CENÁRIO 1: UPAC 750W + ARMAZENAMENTO 0kWh	33
5.2.1. <i>Análise durante o Inverno</i>	34
5.2.2. <i>Análise durante o Verão</i>	35
5.2.3. <i>Considerações Finais</i>	35
5.3. CENÁRIO 2: UPAC 1250W + ARMAZENAMENTO 4 kWh	37
5.3.1. <i>Análise durante o Inverno</i>	37
5.3.3. <i>Análise durante o Verão</i>	38
5.3.5. <i>Considerações Finais</i>	38
5.4. CENÁRIO 3: UPAC 1250W + ARMAZENAMENTO 8 kWh	40
5.4.1. <i>Análise durante o Inverno</i>	40
5.4.2. <i>Análise durante o Verão</i>	41
5.4.3. <i>Considerações Finais</i>	41
5.5. TERMOACUMULADOR	42
6. CONCLUSÃO	44
6.1. CONCLUSÕES	44
6.2. DESAFIOS FUTUROS	45
REFERÊNCIAS	46
ANEXOS	49
ANEXO A – RESUMOS	49
ANEXO B – SISTEMA PARA AUTOCONSUMO	51
B.1. <i>Com Armazenamento</i>	51
B.2. <i>Sem Armazenamento</i>	70

Lista de Siglas e Acrónimos

AMI	<i>Advanced Metering Infrastructure</i>
BESS	<i>Battery Energy Storage System</i>
BPSO	<i>Binary Particle Swarm Optimization</i>
BT	Baixa Tensão
BTN	Baixa Tensão Normal
BTE	Baixa Tensão Especial
CUR	Comercializador Último Recurso
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
DR	<i>Demand Response</i>
DOD	<i>Depth of Discharge</i>
DSM	<i>Demand Side Management</i>
EDP	Energias de Portugal
EMC	<i>Energy Management Controller</i>
ESS	<i>Energy Storage System</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
EV	<i>Electric Vehicles</i>
GA	<i>Genetic Algorithm</i>
GEE	Gases Efeito de Estufa
HAN	<i>Home Area Network</i>
HEMS	<i>Home Energy Management System</i>
PV	<i>Photovoltaic</i>
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
SEE	Sistema Elétrico de Energia
SEN	Serviço Elétrico Nacional

SM	<i>Smart-Meter</i>
SG	<i>Smart-Grid</i>
SOC	<i>State of Charge</i>
SRM	Sistema de Registo da Microprodução
UE	União Europeia
UPP	Unidade de Pequena Produção
UPAC	Unidade de Produção para Autoconsumo

Lista de Figuras

Figura 2. 1- Potencial Fotovoltaico na Europa [3].	4
Figura 2. 2- Potencial Fotovoltaico em Portugal [4].	5
Figura 2. 3- Evolução da Produção Fotovoltaica em Portugal (GWh) [6].	6
Figura 2. 4- Irradiação Solar ao longo do dia [8].	7
Figura 2. 5- Visão global sobre a arquitetura de um HEMS representativo [11].	9
Figura 2. 6- Ilustração da arquitetura de um HEMS [14].	10
Figura 2. 7- Funcionalidades do HEMS [17].	11
Figura 2. 8- Modelo do sistema de comunicação do EMC [14].	13
Figura 2. 9- Sistema Isolado [32].	16
Figura 2. 10- Sistema Híbrido [32].	17
Figura 3. 1- Funcionamento do Termoacumulador [38].	23
Figura 4. 1- Dados relativos ao consumo médio diário de janeiro (mês representativo de Inverno).	27
Figura 4. 2- Dados relativos ao consumo médio diário de abril (mês representativo de Primavera).	27
Figura 4. 3- Dados relativos ao consumo médio diário de julho (mês representativo de Verão).	28
Figura 4. 4- Dados relativos ao consumo médio diário de setembro (mês representativo de Outono).	28
Figura 4. 5- Dados relativos à produção média de um painel fotovoltaico de 750W nos meses representativos das estações do ano.	29
Figura 4. 6- Dados relativos à produção média de cada tipo de painel fotovoltaico conforme os meses representativos das diferentes estações do ano.	30
Figura 5. 1- Dados relativos ao consumo, produção, injeção e autossuficiência ao longo do ano, por estações do ano, para diferentes configurações de UPAC.	33
Figura 5. 2- Dados relativos a um dia típico útil e de fim-de-semana representativos do Inverno, respetivamente, para UPAC 750W.	34
Figura 5. 3- Dados relativos a um dia típico útil e de fim-de-semana representativos do Verão, respetivamente, para UPAC 750W.	35
Figura 5. 4- Dados relativos a um dia típico útil e de fim-de-semana representativos do Inverno, respetivamente, para UPAC 1250W + 4kWh.	37
Figura 5. 5- Dados relativos a um dia típico útil e de fim-de-semana representativos do Verão, respetivamente, para UPAC 1250W + 4kWh.	38
Figura 5. 6- Dados relativos à utilização da bateria e autossuficiência ao longo do ano no cenário de UPAC 1250W + 4kWh.	39
Figura 5. 7- Dados relativos a um dia típico útil e de fim-de-semana e representativos do Inverno, respetivamente, para UPAC 1250W + 8kWh.	40
Figura 5. 8- Dados relativos a um dia útil típico e de fim-de-semana representativos do Verão, respetivamente, para UPAC 1250W + 8kWh.	41
Figura 5. 9- Dados relativos à utilização de bateria e autossuficiência para UPAC 1250W+8kWh.	41
Figura 5. 10- Controlo do Termoacumulador para dois dias úteis, segunda-feira, de semanas adjacentes, em março.	43
Figura A. 1- Resultado Simulação: Autoconsumo.	49
Figura A. 2- Resultados Simulação: Injeção.	49
Figura A. 3- Resultados Simulação: Compra.	49
Figura A. 4- Resultados Simulação: Autossuficiência.	49
Figura A. 5 Perfil de Carga do Termoacumulador com Controlo OFF.	49

Figura A. 6 Perfil de Carga para o Termoacumulador com Controlo ON.	Figura A. 7 Perfil de Carga do Termoacumulador com Controlo OFF.	49
Figura A. 8 Perfil de Carga para o Termoacumulador com Controlo ON.		49
Figura A.2. 1- Controlo Termoacumulador.....		50
Figura B.1. 1 Dados relativos à UPAC 750W + 2kWh.....		52
Figura B.1. 2 Utilização da bateria para UPAC 750W + 2kWh.		52
Figura B.1. 3 Dados Relativos à UPAC 750W + 2kWh, relativos à sazonalidade.		53
Figura B.1. 4 Dados relativos à UPAC 750W + 4kWh.....		54
Figura B.1. 5 Utilização de bateria para UPAC 750W + 4kWh.		54
Figura B.1. 6 Dados Relativos à UPAC 750W + 4kWh, relativos à sazonalidade.		55
Figura B.1. 7 Dados relativos à UPAC 1000W + 4kWh.....		56
Figura B.1. 8 Utilização de Baterias para UPAC 1000w + 4kWh.		56
Figura B.1. 9 Dados Relativos à UPAC 1000W + 4kWh, relativos à sazonalidade.		57
Figura B.1. 10 Dados relativos à UPAC 1000W + 8kWh.....		58
Figura B.1. 11 Utilização de bateria para UPAC 1000W + 8kWh.....		58
Figura B.1. 12 Dados Relativos à UPAC 1000W + 8kWh, relativos à sazonalidade.		59
Figura B.1. 13 Dados relativos à UPAC 1250W + 4kWh.....		60
Figura B.1. 14 Utilização da bateria para UPAC 1250W + 4kWh.....		60
Figura B.1. 15Dados Relativos à UPAC 1250W + 4kWh, relativos à sazonalidade.		61
Figura B.1. 16 Dados relativos à UPAC 1250W + 8kWh.....		62
Figura B.1. 17 Utilização da bateria para UPAC 1250W + 8 kWh.....		62
Figura B.1. 18 Dados Relativos à UPAC 1250W + 8kWh, relativos à sazonalidade.		63
Figura B.1. 19 Dados relativos à UPAC 1500W + 4kWh.....		64
Figura B.1. 20 Utilização da bateria para UPAC 1500W + 4kWh.....		64
Figura B.1. 21 Dados Relativos à UPAC 1500W + 4kWh, relativos à sazonalidade.		65
Figura B.1. 22 Dados relativos à UPAC 1500W + 8 kWh.....		66
Figura B.1. 23 Utilização da bateria para UPAC 1500W + 8kWh.....		66
Figura B.1. 24 Dados Relativos à UPAC 1500W + 8kWh, relativos à sazonalidade.		67
Figura B.1. 25 Dados relativos à UPAC 1500W + 10kWh.....		68
Figura B.1. 26 Utilização da bateria para UPAC 1500W + 10 kWh.....		68
Figura B.1. 27 Dados Relativos à UPAC 1500W + 10kWh, relativos à sazonalidade.		69
Figura B.2. 1 Dados relativos à UPAC 750W.....		70
Figura B.2. 2 Dados relativos à UPAC 750W.....		70
Figura B.2. 3 Dados relativos à UPAC 750W, em termos de sazonalidade.....		70
Figura B.2. 4 Dados relativos à UPAC 750W, em termos de sazonalidade.....		70
Figura B.2. 5 Dados relativos à UPAC 1000W.....		71
Figura B.2. 6 Dados relativos à UPAC 1000W.....		71
Figura B.2. 7 Dados relativos à UPAC 1000W, em termos de sazonalidade.....		71
Figura B.2. 8 Dados relativos à UPAC 1000W, em termos de sazonalidade.....		71
Figura B.2. 9 Dados relativos à UPAC 1250W.....		72
Figura B.2. 10 Dados relativos à UPAC 1250W.....		72
Figura B.2. 11 Dados relativos à UPAC 1250W, em termos de sazonalidade.....		72
Figura B.2. 12 Dados relativos à UPAC 1250W, em termos de sazonalidade.....		72
Figura B.2. 13 Dados relativos à UPAC 1500W.....		73
Figura B.2. 14 Dados relativos à UPAC 1500W.....		73
Figura B.2. 15 Dados relativos à UPAC 1500W, em termos de sazonalidade.....		73

Lista de Tabelas

Tabela 2. 1- Características dos Sistemas de Armazenamento de Energia com baterias [29]. ...	18
Tabela 4. 1- Dados relativos ao consumo em kWh durante o ano de 2019.	25
Tabela 4. 2- Dados relativos ao consumo médio em kWh durante o ano de 2019.....	26
Tabela 4. 3- Dados relativos à produção fotovoltaica em kWh para cada mês do ano.	30
Tabela 5. 1- Dados anuais relativos à UPAC sem recurso a armazenamento.	36
Tabela B.1. 1- Resultados Cenário 2: UPAC 1250W + 4kWh.	51
Tabela B.1. 2- Resultados Cenário 3: UPAC 1250W + 8kWh.	51

1. Introdução

1.1. Motivação

As energias renováveis são cada vez mais usadas quer a nível industrial quer a nível residencial, sobretudo com a instalação de sistemas Solar PV. A dificuldade maior é ajustar o perfil da produção com o perfil de consumo da instalação, daí a necessidade de se usar armazenamento através de baterias e de se fazer controlo das cargas da instalação procurando deslocar o seu funcionamento para os períodos de maior produção.

Esta Dissertação enquadra-se no estudo sobre a forma como poderá ser feita a gestão automatizada do armazenamento da energia, produzida e não consumida, em baterias, bem como a gestão de algumas cargas passíveis de alterar os seus períodos de funcionamento. Na conjugação destes destas duas formas de gestão procura-se maximizar o autoconsumo da energia produzida garantindo a maior autossuficiência associada a cada situação de potência instalada em produção e nível de armazenamento. Esta forma de gestão pode ser assegurada por um elevado grau de automatização que um sistema de gestão de energia residencial (*Home Energy Management System* – HEMS) consegue assegurar.

É preciso ter em conta que, apesar de ser uma tecnologia promissora e com imenso interesse, existem também algumas barreiras quer sejam de índole regulamentar, quer sejam de limitação tecnológica, já que para que este tipo de tecnologia seja viável, requer um sistema de comunicação entre os aparelhos eletrodomésticos e o HEMS. Além disso, é necessário que os equipamentos estejam aptos para a comunicação com o controlador inteligente, e por isso, torna-se uma ideia um tanto dispendiosa se formos avaliar os requerimentos para a aceitação desta tecnologia em habitações. Não obstante este tipo de limitações e barreiras ao desenvolvimento deste controlo, o atual enquadramento legislativo português incentiva ao autoconsumo no sector residencial.

Posto isto, é necessário fazer um estudo quanto à viabilidade técnica na implementação de um HEMS com capacidade de controlo automatizado de equipamentos eletrodomésticos e do controlo de carga e descarga da bateria em função da produção fotovoltaica em cada instante.

1.2. Objetivos

A presente dissertação visa o estudo de um HEMS para que de forma eficiente e automatizada, minimize as trocas de energia entre o edifício e a rede tirando o máximo aproveitamento da produção local. De forma resumida, pretende-se estudar os níveis de autoconsumo de uma determinada residência com instalação de um sistema solar fotovoltaico e com armazenamento através de baterias, e pretende-se também avaliar os níveis de autossuficiência para diferentes capacidades de produção fotovoltaica com armazenamento, através da informação recolhida por indicadores energéticos, para posteriormente, serem obtidas soluções que ofereçam uma boa relação custo/benefício. Essa avaliação tem por base a observação do comportamento do estado de carga das baterias, da produção fotovoltaica e do autoconsumo, que se traduz em poupanças com os custos de compra de eletricidade, considerando diferentes cenários de produção e armazenamento instalados. Pretende-se com o estudo e levantamento da literatura acerca do HEMS que se consiga concluir de que forma poderá o mesmo ser benéfico e uma mais valia para a gestão otimizada dos consumos domésticos de energia e a consequente redução dos encargos energéticos

1.3. Estrutura de Dissertação

Esta tese é constituída por seis capítulos, sendo que o primeiro remete para a introdução, estrutura e objetivos do trabalho.

No segundo capítulo, são explorados os seguintes temas: produção solar fotovoltaica, o HEMS, os sistemas de armazenamento de energia (ESS), legislação do autoconsumo em Portugal bem como as suas vantagens e desvantagens.

Num terceiro capítulo é especificado as funcionalidades de um HEMS, isto é, são definidos os modelos de gestão de carga das baterias, gestão dos eletrodomésticos, modelo do consumo de energia e especificidades do Termoacumulador para este tipo de consumidor.

O quarto capítulo destina-se à caracterização de consumo do consumidor escolhido para estudo de caso, onde são apresentados os diagramas de carga e perfis de produção de energia, seguido de uma análise minuciosa para as estações do ano.

No capítulo cinco aborda-se a metodologia utilizada para o tratamento dos dados de consumo, e de produção; e do estado de carga das baterias, onde se referem as ferramentas utilizadas e que princípios foram aplicados para a sua formulação, e onde é

feito o estudo de caso.

O sexto capítulo é dedicado às conclusões finais da dissertação tendo em conta as análises de dados e resultados obtidos; e às sugestões de trabalhos futuros.

2. Enquadramento

A energia proveniente do sol, na forma de radiação, é a base de toda a vida na Terra. No entanto, a elevada distância que existe entre o Sol e a Terra apresenta uma limitação na radiação solar emitida que atinge a superfície da Terra, mas mesmo assim corresponde ao valor de $1 \times 10^{18} kWh/ano$. Somente uma pequena parte da quantidade total da radiação solar atinge a superfície terrestre, pois a atmosfera reduz a radiação através de fenómenos como a reflexão, absorção e dispersão [1].

De acordo com os estudos, sabe-se que o nível de irradiância na Terra alcança o seu máximo por volta do meio-dia, em condições climáticas perfeitas. Como se vê na Figura 2.1, os países do Sul da Europa apresentam um maior potencial solar, remetendo para uma irradiação solar entre os $1300 kWh/m^2.ano$ e os $1900 kWh/m^2.ano$ [1].

Portugal é um dos países Europeus que maior disponibilidade de radiação solar apresenta. Este facto pode ser clarificado em termos do número médio anual de horas de sol, que varia entre as 2200 e 3000 horas para Portugal, e por exemplo, para Alemanha varia entre 1200 e 1700 horas [2].

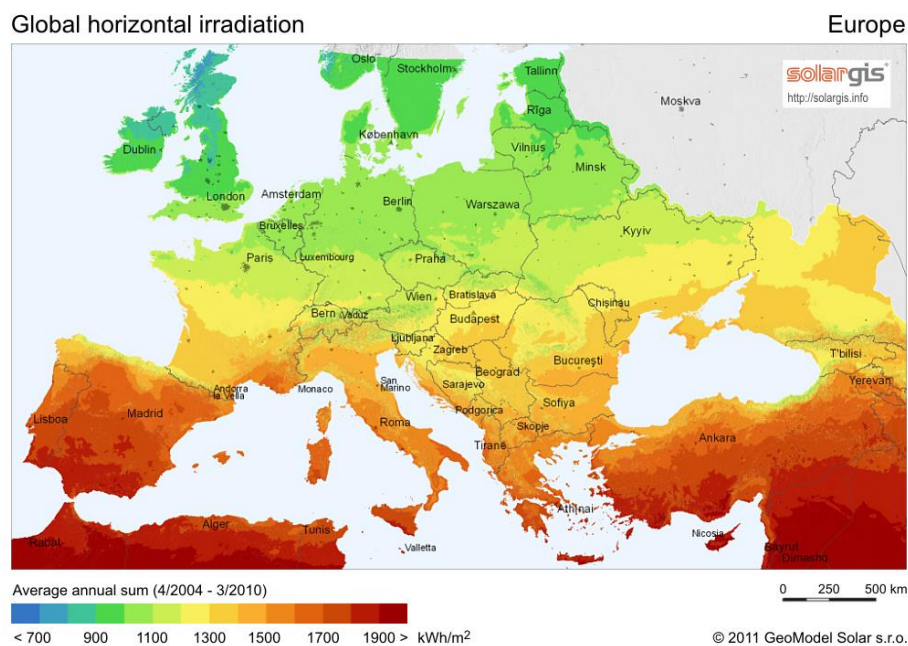


Figura 2. 1- Potencial Fotovoltaico na Europa [3].

Além disso, Portugal é dos países europeus que maior potencial solar apresenta, e que atinge o seu valor máximo por volta do meio-dia solar entre as 12:30H e as 12:50H, obtendo uma irradiação solar máxima de $1800 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ [3].

A Figura 2.2 apresenta os diferentes níveis de irradiação solar em Portugal [4].

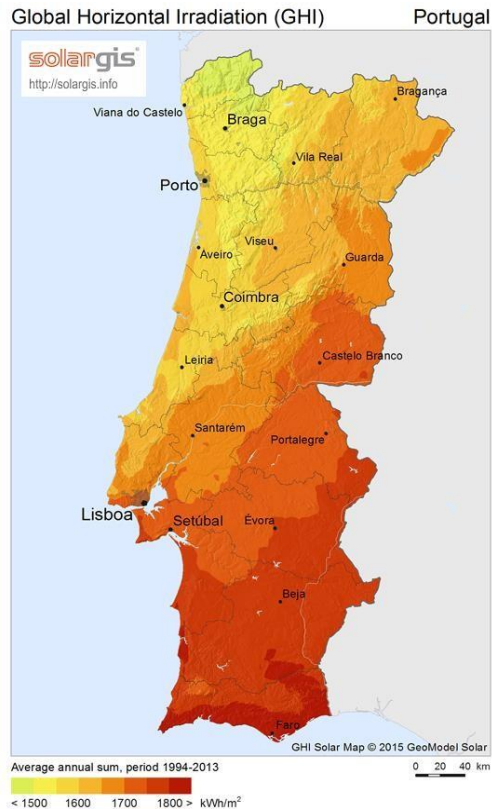


Figura 2. 2- Potencial Fotovoltaico em Portugal [4].

2.1. Enquadramento Nacional

O desenvolvimento sustentável é uma preocupação importante no sector energético. Daí que se tenha apostado nos últimos anos no aproveitamento solar fotovoltaico e na gestão de energia com recurso a armazenamento de energia eléctrica. Em 2010 a capacidade instalada de produção fotovoltaica era cerca de 134 MW, sendo esperado um aumento substancial, prevendo-se, em 2030 uma capacidade instalada de produção de 905 MW [5].

Em Portugal, constatamos que o crescimento de energia fotovoltaica foi significativo nos últimos anos, e que a região do Alentejo foi responsável por 48% da produção fotovoltaica nacional, como se evidencia na Figura 2.3. Podemos ainda realçar que o investimento nesta área de produção é significativo, já que desde 2014 entraram 12 centrais fotovoltaicas de concentração em funcionamento, totalizando uma potência de

17 MW [6].

É notório o crescimento da exploração de solar fotovoltaico, visto que em 2017 a Região do Alentejo representava cerca de 36% da produção fotovoltaica nacional, e em 2019 apresentou uma subida de 12% face ao valor anteriormente registado [6].

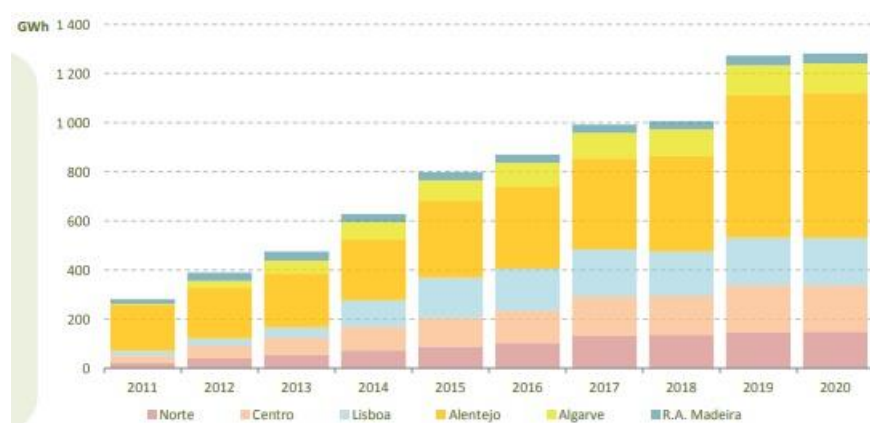


Figura 2. 3- Evolução da Produção Fotovoltaica em Portugal (GWh) [6].

2.2. Produção de Eletricidade com origem em Fontes Renováveis

2.2.1. Fatores Externos

A produção através de solar fotovoltaica está afetada de fatores externos, condições climáticas, que contribuem para a sua intermitência na produção.

A grande variabilidade que se faz sentir no que respeita à energia solar, ao longo do dia, é indiferente à estação do ano. A intermitência que se verifica nesta fonte de energia traz consequências, na necessidade de recorrer a fontes de energia não-renovável e, por outro lado, quando há energia em excesso, pode se incorrer em problemas de estabilidade na rede elétrica se forçarem a saída do sistema de fontes de produção mais estáveis, para encaixar essa produção renovável.

As alterações previsíveis referem-se a dias de céu limpo e à trajetória do sol, sendo que em caso de alguma passagem de obstáculo à radiação solar, como por exemplo: nuvens (como representado na Figura 2.4), fumo de incêndios, fogos florestais. Estas últimas, são alterações não previsíveis a médio prazo.

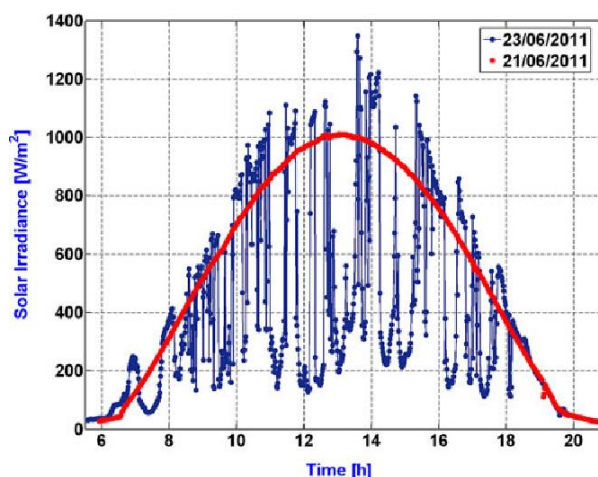


Figura 2. 4- Irradiação Solar ao longo do dia [8].

2.2.2. Integração de Renováveis em Edifícios Residenciais

É notório a evolução da integração de renováveis em residenciais, particularmente com recurso a sistemas fotovoltaicos. Nos pontos anteriores vimos que a produção fotovoltaica apresenta uma certa variabilidade, e, além disso, os perfis de produção e do consumo de eletricidade não são coincidentes sobretudo no que diz respeito ao setor residencial. Por consequência, será injetada na rede uma parte de energia produzida, conduzindo a impactos negativos para a gestão da rede elétrica e a prejuízo económico para o consumidor, já que o preço recebido pela energia injetada é muito inferior ao da energia comprada e recebida da rede [10].

O consumo de energia nas famílias da União Europeia (UE) tem crescido constantemente nos últimos anos devido à utilização de novas cargas e à melhoria do conforto nas habitações. Vários aparelhos de consumo residencial, devidamente controlados através de ações de *Demand Response* (DR), podem ser usados como um recurso energético que contribui para reduzir a incompatibilidade temporal entre geração e consumo. Além disso, o armazenamento de energia deverá emergir como a solução mais adequada para este novo paradigma, uma vez que se pode armazenar o excedente de geração para ser usado mais tarde nos períodos de alto consumo e de geração pequena ou nula [10].

Assim, será necessário desenvolver sistemas de gestão inteligentes que assegurem o maior aproveitamento de energia produzida para autoconsumo. Deste modo, é importante desenvolver tecnologias de gestão de energia para colmatar os efeitos que advém tanto da intermitência da energia solar como do desajuste temporal entre a produção e consumo. Os métodos mais eficazes, a nível residencial, são os programas de

DR, e o armazenamento de energia. Podemos destacar o HEMS como uma tecnologia para gerir tanto o DR como o armazenamento, procurando maximizar o autoconsumo da energia produzida localmente numa determinada residência.

2.3. Gestão de Energia

A gestão de energia consiste em organizar a forma como é utilizada a energia, visando algum tipo de objetivo, tal como, a melhoria da eficiência energética e/ou a redução de custos com a fatura de energia. A energia elétrica pode ser controlada por um Sistema de Gestão de Energia (SGE). Em ambiente residencial designamos por HEMS.

2.3.1. HEMS

O HEMS é definido como o sistema de gestão de energia elétrica que presta serviços de gestão de energia de forma a monitorizar e gerir de forma eficiente a produção, o armazenamento e o consumo de eletricidade em edifícios residenciais. Por conseguinte, o HEMS está associado aos programas de gestão do lado da procura, serviços de automação, gestão de energia, visualização e análise de dados, auditoria e serviços de segurança. Assim, o HEMS proporciona uma comunicação bidirecional entre as habitações e a RESP com o intuito de monitorizar, controlar e analisar os dados associados ao consumo de eletricidade [11].

2.3.1.1. Arquitetura

A arquitetura geral de um HEMS está representada na Figura 2.5.

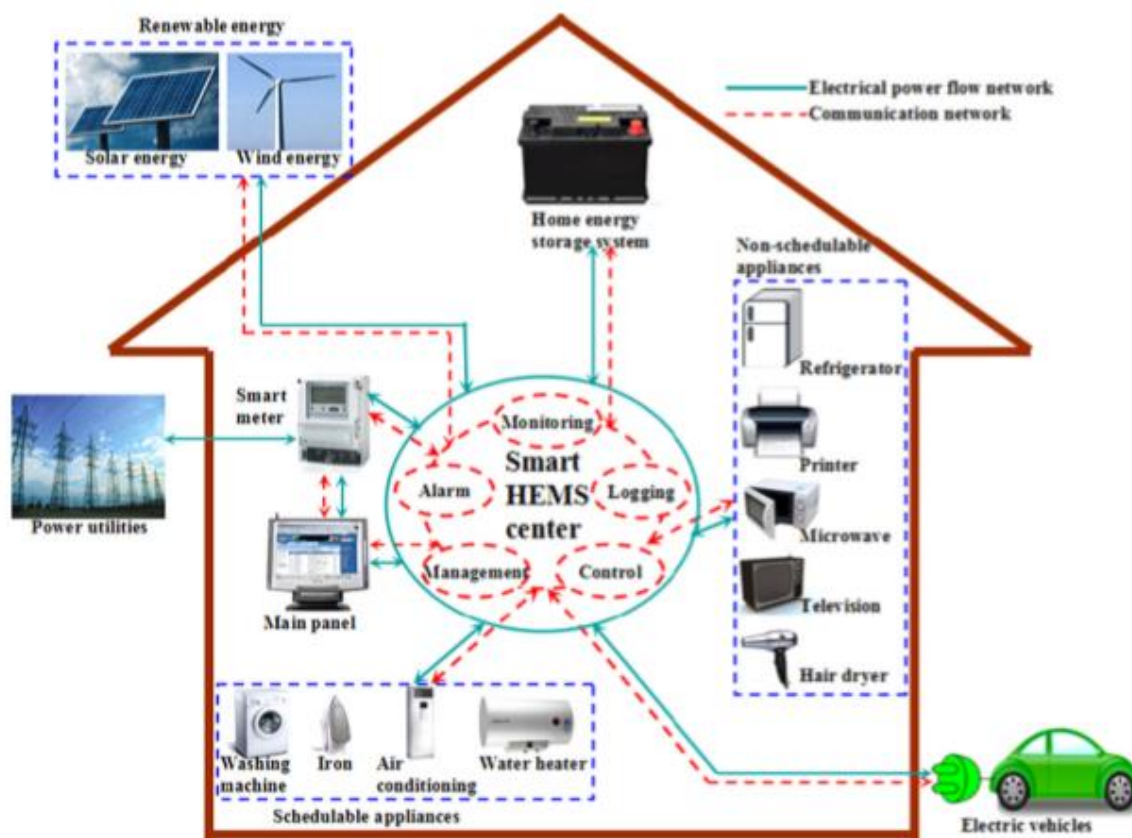


Figura 2.5- Visão global sobre a arquitetura de um HEMS representativo [11].

O HEMS proposto neste trabalho foca essencialmente no controlador de gestão de energia, no que respeita a produção de eletricidade através de um sistema Solar PV, na gestão do sistema de armazenamento e no reescalonamento de certos eletrodomésticos.

O *Smart-Meter* (SM) é equivalente a uma interface de comunicação com a rede, que recolhe os dados de compra de energia e de injeção, ou seja, controla as trocas de energia com a RESP e recebe também a informação acerca do preço de eletricidade da empresa contratada para o fornecimento de energia [12].

A informação emitida ou recebida pela empresa fornecedora de energia sobre os preços de eletricidade que variam ao longo do dia, são alvos de uma análise detalhada e podem influenciar a procura de energia de cada consumidor numa área específica, provocando deslocamento de carga dos eletrodomésticos para períodos de custo mais baixo [13].

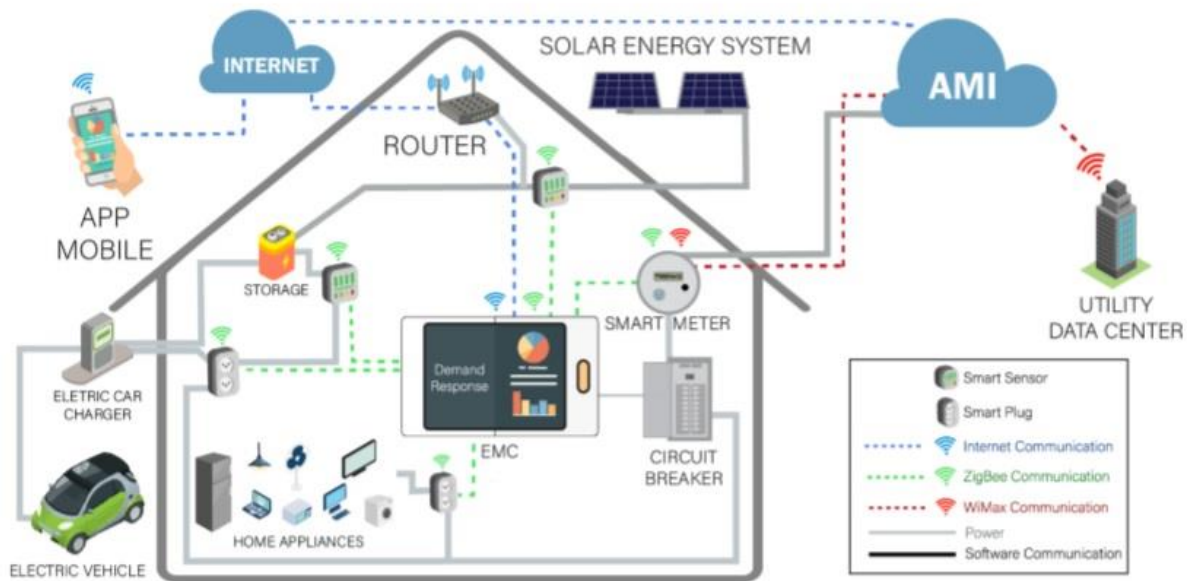


Figura 2. 6- Ilustração da arquitetura de um HEMS [14].

A integração de múltiplas tecnologias, combinadas com o controlo otimizado do controlador de gestão de energia (EMC), favorece uma tomada de decisão inteligente, fiável e segura. Uma aplicação da arquitetura ilustrada na Figura 2.6 prevê, por exemplo, que a eletricidade gerada e armazenada possa ser utilizada num determinado intervalo temporal para carregar não só veículos elétricos, mas também para fornecer energia aos outros dispositivos residenciais quando, por exemplo, o custo da eletricidade é elevado [14].

Os consumidores podem aceder a todo o processo de monitorização, controlo e gestão da energia doméstica através de uma *mobile app*. Este tipo de aplicação informática informa os consumidores acerca do consumo de energia, a procura e o preço de eletricidade num determinado instante. Consequentemente os consumidores podem decidir intervir, ou não, na programação otimizada sugerida pelo EMC [14].

2.3.1.2. Funcionalidades

A fim de participar na economia da eletricidade e reduzir a procura de energia, o HEMS deve ser o mais flexível possível para gerir e controlar os aparelhos inteligentes, tirando partido dos recursos de fontes renováveis [15].

Assim os serviços de controlo ativo, incluindo informações em tempo real sobre a quantidade de consumo de energia e os preços da energia em casas inteligentes, podem ser fornecidos aos consumidores com base no HEMS. Os consumidores domésticos

podem escolher as suas preferências através da interface homem-máquina para agendar o tempo de serviço de vários aparelhos de forma a aumentar a eficiência energética [16].

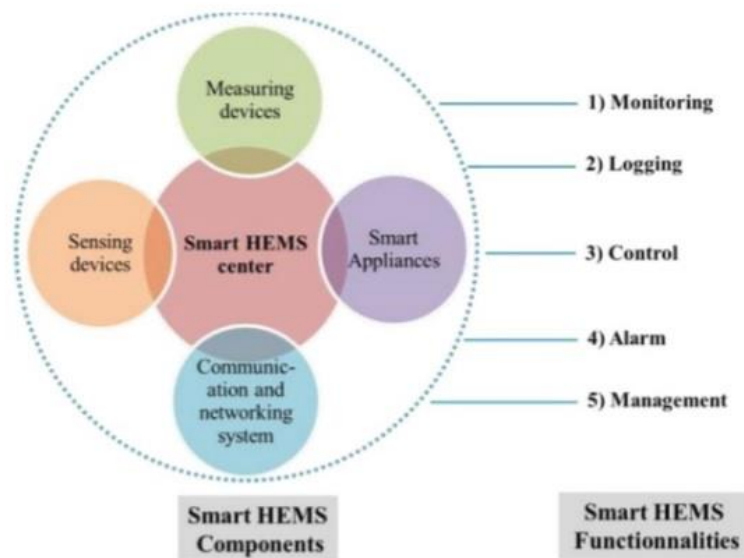


Figura 2. 7- Funcionalidades do HEMS [17].

A monitorização feita por um HEMS proporciona um fácil acesso a informações em tempo real sobre o consumo de energia e permite aos utilizadores que se “concentrem” na poupança da eletricidade. Para além disso, permite que os consumidores estejam informados do estado do sistema elétrico, através da integração de serviços de visualização sobre os modos de funcionamento e o estado de potência de cada aparelho eletrodoméstico.

O registo é utilizado para recolher e armazenar dados do consumo dos aparelhos, e também da produção de energia elétrica (do Sistema Solar PV) e o estado de carga do BESS. Esta funcionalidade contém ainda análises de resposta à procura para os preços da rede elétrica em tempo real numa espécie de base de dados.

A gestão é talvez a funcionalidade do HEMS que apresenta maior interesse, já que é responsável em grande parte pela otimização de energia. Esta engloba uma série de serviços, incluindo serviços de gestão de sistemas de produção PV, serviço de gestão de armazenamento de energia e serviços de agendamento de eletrodomésticos.

2.3.1.3. Equipamentos Eletrodomésticos

Normalmente a atuação do sistema face ao aumento ou diminuição do consumo é feita no lado da produção, mas com os programas de DR é também possível atuar no lado da procura, como acontece no HEMS. Ao aplicar os programas de DR, é necessário classificar as cargas quanto ao seu tipo [7], sendo elas:

- Cargas não-controláveis (*uncontrollable load*): são cargas que não podem ser alvo de qualquer tipo de ações.
- Cargas parametrizáveis (*parameterizable load*): são cargas termostáticas que podem ser controladas através do ajuste da temperatura.
- Cargas interruptivas (*interruptible load*): são cargas que podem ser interrompidas durante um curto período em qualquer ponto de funcionamento.
- Cargas móveis (*shiftable load*): são cargas que podem ser usadas noutro período do dia e, portanto, o seu ciclo de funcionamento pode ser antecipado ou adiado.

Cada vez mais o uso de novas tecnologias de comunicação e controlo, como por exemplo nas *Smart-Grid*, permitem que estas cargas participem de forma ativa no equilíbrio dos SEE, o que torna viável a utilização de programas de DR [18].

No caso de agregados familiares o consumo tem vindo a aumentar devido ao uso de aparelhos de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), aparelhos de iluminação, aparelhos de frio (frigoríficos e arcas) e máquinas de lavar e secar. Para uma maior eficiência, as máquinas de lavar e secar, através de programas de DR, podem ser reprogramadas de modo a funcionarem em períodos horários de menor custo de energia e em relação aos aparelhos de AVAC (cargas parametrizáveis) podem ser interrompidos durante períodos curtos de tempo, sem que haja reduções de qualidade de serviço, para evitar alguns desequilíbrios entre a geração e a procura [19].

Devemos ter em conta que os dispositivos de armazenamento de energia elétrica (baterias), painéis fotovoltaicos ou turbinas eólicas não são encontrados em todas as casas, mas muitas vezes são incluídos nos modelos do HEMS como requisitos para a gestão de energia elétrica residencial.

2.3.1.4. Objetivos de um HEMS

Embora o propósito do HEMS na literatura seja consistente, ou seja, gerenciar o melhor possível o consumo de energia, os objetivos atribuídos a esses sistemas podem variar de forma significativa. De acordo com a literatura [22], várias classes de objetivos foram definidos:

- Gestão dos custos, que incluem quaisquer despesas financeiras associadas à gestão energética [20].
- Garantia de Conforto, que diz respeito ao bem-estar do consumidor e é um objetivo importante a manter na gestão do consumo de energia.
- Gestão do perfil de carga de modo a contribuir para a redução da dependência da rede para o consumidor [21].

2.3.1.5. Comunicação

Para que um HEMS funcione eficazmente, é essencial que haja acesso a determinadas informações, tais como: previsões meteorológicas e preços da eletricidade. Além disso, é necessário que exista a capacidade de enviar sinais adequados ao destinatário, ou seja, *networking* entre a RESP e o sistema elétrico residencial.

No entanto, a atual rede elétrica tem funcionalidades limitadas na comunicação com o HEMS. Assim, uma infraestrutura elétrica mais inteligente e preparada, designada por *Smart-Grid*, é necessária para viabilizar a implementação de um sistema avançado HEMS, adicionando uma camada de comunicação à rede.

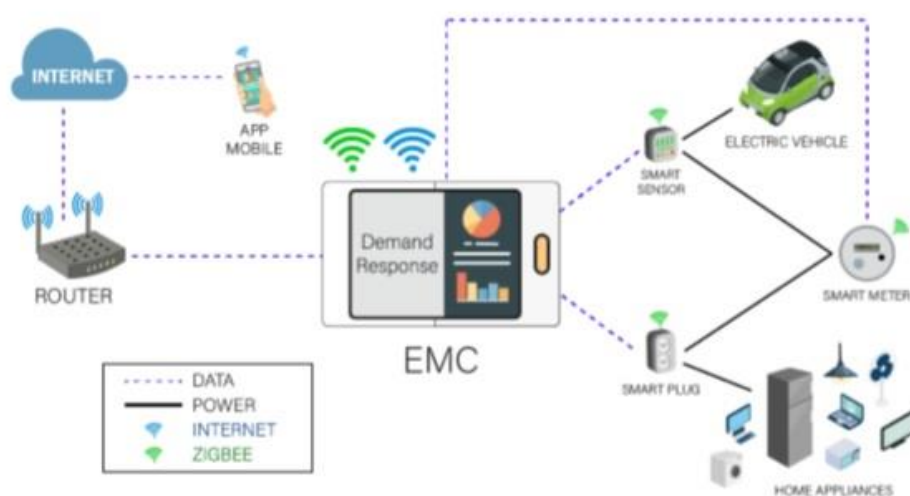


Figura 2. 8- Modelo do sistema de comunicação do EMC [14].

No âmbito do HEMS, o EMC e os dispositivos devem poder comunicar através de sinais de controlo e informação para otimizar o consumo e o calendário de produção, como sugere a Figura 2.8.

Dito isto, os dispositivos precisam de ser capazes de transmitir informações vitais sobre o seu estado e requisitos energéticos, bem como agir perante sinais vindos do controlador.

Por norma, o controlo inteligente do dispositivo pode ser centralizado, ou o HEMS pode simplesmente fornecer as informações necessárias para um dispositivo inteligente criar a sua própria linha temporal independente [36,37]. No entanto, um aumento das comunicações entre dispositivos inteligentes, HEMS e a rede elétrica implicaria um custo mais elevado de instalação e operação, bem como maiores preocupações com a segurança da informação [23]. Nessa medida, seria vantajoso haver uma infraestrutura mínima de comunicações para satisfazer os requisitos funcionais do HEMS. A exigência mínima de infraestruturas depende fortemente da arquitetura do sistema e dos dispositivos que nela constem [22].

2.4. Autoconsumo

O autoconsumo, uma atividade regulada pelo Decreto-Lei nº162/2019, de 25 de outubro, é um modelo de produção descentralizada de energia, em geral, com ligação à RESP, baseada em tecnologias de produção essencialmente renováveis em que a energia elétrica produzida é usada para colmatar as necessidades de consumo da instalação. Segundo o Decreto-Lei referido, o novo regime de produção distribuída prevê dois tipos de instalações fotovoltaicas, de pequena produção (UPP) e de autoconsumo (UPAC) [24].

As instalações de produção de eletricidade a partir de fontes de energia renovável para autoconsumo, que à data de 1 de janeiro de 2020 se encontravam em exploração passam a reger-se pelo novo regime jurídico. Além disso, as regras presentes no Regulamento nº 2/2020 do autoconsumo de energia elétrica, aplicam-se às instalações de autoconsumo e às instalações membros de uma Comunidade de Energia Renovável que, cumulativamente, disponham de um sistema de medição inteligente (*Smart-Meters*); e sejam instaladas no mesmo nível de tensão [24].

As UPAC produzem eletricidade essencialmente para satisfazer necessidades de consumo das instalações a elas associadas, onde eventuais excedentes de produção instantânea podem ser injetados na RESP, quando aplicável [25]. O modelo proposto pressupõe a adequação da capacidade de produção ao regime de consumo existente no

local, minimizando a injeção de energia na RESP.

A energia produzida pelas UPP remete para a produção de energia renovável, baseada em uma só tecnologia de produção, e injeção da totalidade de energia elétrica à RESP, mantendo o modelo de atribuição de tarifa via leilão, simplificando e agregando o atual regime de Micro e Miniprodução e mantém os requisitos de produção indexados ao consumo de eletricidade existente, na instalação de consumo associada [9,26].

A nova lei do autoconsumo de eletricidade traz algumas alterações ao paradigma da produção e compra de energia em Portugal, trazendo vantagens aos utilizadores, [27,28], sendo elas:

- Redução da exposição à variação dos preços de eletricidade: reduzem a sua exposição à flutuação futura dos preços de eletricidade naquela parcela de energia que passam a produzir, sendo uma parcela de valor fixo;
- Diminuição de custos: a produção própria permite que se reduza os seus custos com a energia elétrica, pois reduz a compra à rede;
- Retorno do investimento: o investimento em painéis fotovoltaicos, no enquadramento do autoconsumo, permite *paybacks* entre os seis e os nove anos, se for feito um adequado dimensionamento do sistema;
- Aumento da consciência energética: o consumidor adapta hábitos de consumo para uma rentabilização máxima do sistema de autoconsumo;
- Rentabilização de ativos parados: empresas com coberturas nos seus edifícios ou parcelas de terreno sem utilização podem aproveitá-las para produzir energia, rentabilizando ativos que de outra forma não têm utilização;

No entanto existem alguns desafios que devem ser superados no sentido de conseguir contrariar a falta de correspondência dos perfis de consumo com os de produção, usando para isso a tecnologia HEMS. A falta de consciencialização e conhecimento dos consumidores para a operação dos sistemas de autoconsumo é ainda uma barreira no investimento destes sistemas que é necessário vencer.

2.4.1. Sistemas de Autoconsumo

O armazenamento de energia virá a desempenhar um papel importante no aproveitamento de produção local para autoconsumo, permitindo a instalação de sistemas fotovoltaicos com maior potência instalada para autoconsumo. Para além disso, tem havido o desenvolvimento de novos dispositivos eletrónicos para o controlo dos sistemas de armazenamento de energia (BESS – Battery Energy Storage System) [29].

Por conseguinte, podemos indicar diferentes sistemas de autoconsumo adaptados conforme as necessidades do utilizador. Estes podem ser sistemas isolados, sistemas híbridos ou sistemas ligados à RESP (com ou sem armazenamento) [30].

Os sistemas isolados fotovoltaicos como representado na Figura 2.9, são usados em situações onde não exista RESP ou os custos de ligação sejam muito elevados. A energia produzida pelos painéis PV além de ser diretamente consumida é também armazenada em baterias que terão de garantir o funcionamento do sistema quando houver pouca ou até mesmo a ausência de luz solar [31].

Como o sistema fotovoltaico apenas gera energia elétrica nas horas de sol, e caso se pretenda usar a eletricidade produzida em excesso é necessário existir sistemas de armazenamento, como por exemplo, baterias. Um sistema isolado com armazenamento, para além dos painéis fotovoltaicos, é constituído por um grupo acumulador (baterias), um controlador /regulador de carga, um inversor de corrente e um sistema de apoio, para quando a energia solar disponível é insuficiente.

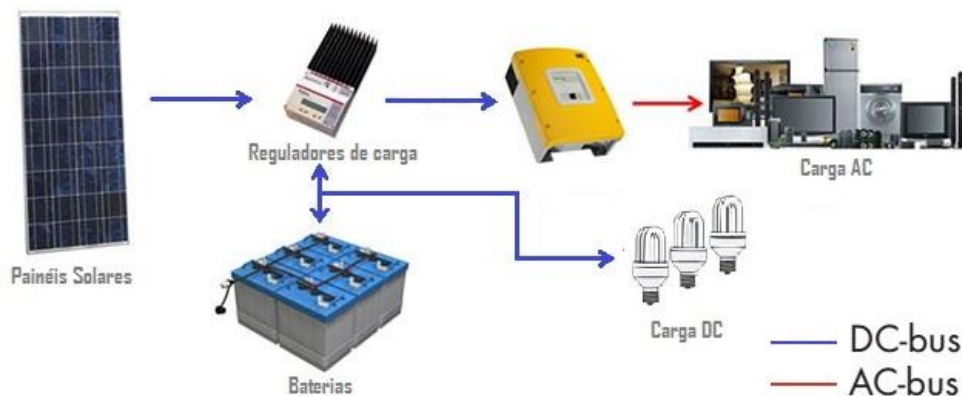


Figura 2. 9- Sistema Isolado [32].

Os sistemas híbridos, representados pela Figura 2.10, são compostos por duas ou mais fontes de energia elétrica em conjunto, de forma a se complementarem mutuamente. Existem em funcionamento dois tipos de sistemas híbridos, um que conjuga apenas produção a partir de energias renováveis. Já o segundo tipo faz uso também da produção a partir de geradores a diesel e gás [32]. Estes sistemas têm de estar equipados com sistemas de controlo mais eficientes que os sistemas isolados de pequena dimensão.

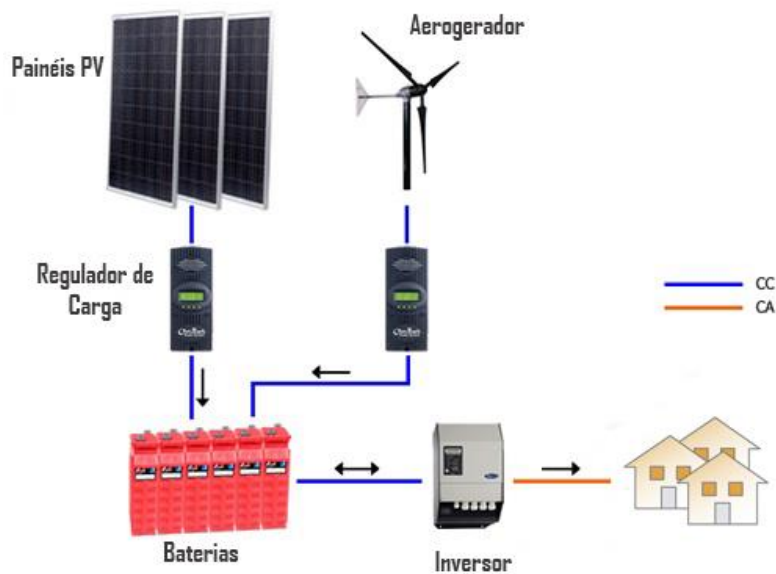


Figura 2. 10- Sistema Híbrido [32].

Muito resumidamente, uma UPAC com ligação à RESP possibilita a comunicação entre um sistema de produção fotovoltaico e a RESP. Este tipo de sistemas pode dividir-se em sistemas com venda do excedente à RESP ou sem venda do excedente [33].

Relativamente aos sistemas com venda do excedente à rede, a energia excedente é vendida à rede com uma remuneração predefinida. Quando é instalado um sistema de armazenamento, a energia excedentária produzida é armazenada para posteriormente ser usada para satisfazer as necessidades de consumo, maximizando a rentabilidade da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos.

2.4.2. Sistemas de Armazenamento de Energia

Os sistemas de armazenamento de energia (ESS) desempenham um papel crucial no funcionamento otimizado da energia produzida pelo sistema fotovoltaico instalado na residência, isto é, a capacidade corretamente dimensionada de um ESS é usada para armazenar uma porção da eletricidade gerada pelo sistema fotovoltaico.

Um ESS é constituído por um conjunto de baterias e por um sistema de controlo de carga e descarga das baterias. As baterias são feitas de células empilhadas onde a energia química é convertida em energia elétrica e vice-versa. Algumas das características importantes de uma bateria são: a eficiência, o tempo de vida (indicado em números de ciclos), a temperatura de operação, profundidade da descarga (representa a percentagem

da capacidade nominal que é usada antes de se proceder ao recarregamento da bateria), a auto-descarga (algumas baterias perdem energia armazenada mesmo sem uso) e a densidade de energia (quantidade de energia armazenada por unidade de volume ou peso) [29].

De entre as várias tecnologias disponíveis para o armazenamento, as baterias são as mais usadas para aplicações de sistemas de energia, no qual se podem enunciar: baterias de chumbo-ácido, baterias de iões de lítio, baterias de níquel-cádmio e baterias de sódio-enxofre [29].

De entre as tecnologias das baterias acima mencionadas, as que apresentam um desempenho adequado para o uso em sistemas fotovoltaicos são as baterias de iões de lítio, resultando em maiores fatores de retorno e maiores eficiências globais da bateria, em comparação com as outras tecnologias.

A Tabela 2.1 permite comparar o diferente tipo de tecnologias associadas ao armazenamento de energia consoante a sua eficiência energética, a densidade de energia, a densidade de potência, o ciclo de vida e a auto-descarga [40].

Tipo de Armazenamento	Eficiência Energética (%)	Densidade de Energia (Wh/kg)	Densidade de Potência (W/kg)	Ciclo de Vida (ciclos)	Auto-Descarga
Bateria Pb-Acid	70 – 80	20 – 35	25	200 – 2000	Baixo
Bateria NiCd	60 – 90	40 – 60	140 – 180	500 – 2000	Baixo
Bateria Li-ion	70 – 85	100 – 200	360	500 – 2000	Médio
Bateria NaS	70	120	120	2000	–

Tabela 2. 1- Características dos Sistemas de Armazenamento de Energia com baterias [29].

2.5. Legislação de Autoconsumo em Portugal

Com o Decreto-Lei n.º 68/2002, foi regulada a atividade de produção de energia elétrica em baixa tensão (BT) destinada predominantemente ao consumo próprio, sem prejuízo da possibilidade de entrega da produção excedente a terceiros ou à rede pública [19].

Em 2007 entra em vigor o Decreto-Lei n.º 363/2007, pois desde a publicação do Decreto-Lei anteriormente mencionado até à data de publicação deste decreto-lei, a instalação de sistemas de microgeração de eletricidade licenciados não tinha atingido uma expressão significativa.

No ano de 2014, foram introduzidas algumas mudanças, e com a entrada em vigor do Decreto-Lei nº153/2014, que veio simplificar significativamente o regime de licenciamento existente até então, substituindo-o por um regime de registo simples, sujeito a inspeção de conformidade técnica. Foi criado o Sistema de Registo da Microprodução (SRM), que constituía uma plataforma eletrónica de interação com os produtores, no qual todo o relacionamento com a Administração, necessária para exercer a atividade de microprodutor, poderia ser realizado. Este Decreto-Lei criou, também, dois regimes de remuneração: o regime geral e o bonificado, sendo que o primeiro era para a generalidade das instalações e o segundo apenas aplicável às fontes renováveis de energia. O regime bonificado era aplicado às unidades de microprodução com potência de ligação até 3,69 kW e era definida uma tarifa única de referência aplicável à energia produzida no ano da instalação e nos cinco anos civis seguintes.

A atividade de produção descentralizada de energia elétrica, regulada pelo Decreto-Lei nº153/2014, de 20 de outubro, estabelecia que a produção de eletricidade era destinada ao autoconsumo na instalação de utilização associada à respetiva unidade produtora, com ou sem ligação à rede elétrica pública, baseada em tecnologias de produção renováveis ou não renováveis, designadas por Unidades de Produção para Autoconsumo.

O Decreto-Lei nº162/2019, dando cumprimento ao estabelecido na Diretiva (EU) 2018/2001, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis, visa promover e facilitar o autoconsumo de energia e as comunidades de energia renovável, eliminando obstáculos legais injustificados e criando condições para o estabelecimento de soluções inovadoras, tanto do ponto de vista económico como do ponto de vista social, baseadas no aproveitamento das novas oportunidades tecnológicas. Concretamente, o presente decreto-lei facilita a participação ativa na transição energética de empresas e de cidadãos interessados em investir, sem subsídios públicos, em recursos energéticos renováveis e distribuídos necessários à cobertura do respetivo consumo. Considerando a natureza inovadora do presente decreto-lei, prevê -se que, até final de 2020, sejam implementados determinados projetos de autoconsumo, possibilitando, assim, às entidades públicas responsáveis pela regulamentação e regulação da atividade ir desenvolvendo esta regulamentação à medida do desenvolvimento prático das soluções [24].

3. Especificações do HEMS

O controlador EMC presente no HEMS proposto visa sobretudo reduzir os custos associados com o consumo de eletricidade e garantir o nível de conforto adequado aos consumidores.

Este controlador é o cérebro de todo este sistema pois gere os eletrodomésticos sob controlo através do modelo proposto neste documento, usando uma tecnologia de comunicação, como por exemplo ZigBee. O EMC programa as operações de controlo com base no consumo de energia, na produção local, no preço da eletricidade e nas preferências dos consumidores.

O modelo proposto é de seguida apresentado.

3.1. Modelo de controlo

Nesta secção são apresentados o modelo e as suas restrições, associadas ao sistema fotovoltaico (PV), ao armazenamento de energia (ESS) e aos aparelhos eletrodomésticos.

O modelo de controlo apresentado nesta dissertação pode ser formulado como um problema de programação não linear, que considera os constrangimentos relacionados com o consumo de eletricidade, tais como, limites mínimos e máximos de carga para cada intervalo de tempo; e os aspetos associados ao nível de inconveniência para os consumidores finais considerando as restrições operacionais dos aparelhos domésticos, de acordo com a sua classificação.

3.1.1. Modelo de Armazenamento de Energia Elétrica

Segundo o modelo de armazenamento de energia (ESS), uma capacidade de baterias em kWh é usada para armazenar a produção de eletricidade excedentária proveniente do sistema PV. As baterias armazenam a energia apenas quando o seu nível de armazenamento é inferior ao limite superior de estado de carga das baterias, e descarrega apenas a quantidade de energia exigida desde que não exceda o limite inferior de capacidade da bateria. A energia armazenada no momento t é formulada na Equação (3.1), e a eletricidade carregada, descarregada e a taxa de auto-descarga são tidas em conta. O carregamento e descarga têm perdas associadas, pelo que se considera a rendimento do ESS e as perdas do sistema previamente especificadas pelo fabricante.

$$ES(t) = ES(t - 1) + k * \eta^{ESS} * EP^{Ch}(t) - \frac{k * EP^{Dch}(t)}{\eta^{ESS}} \quad \forall t \quad (3.1)$$

Onde o ES significa a energia armazenada, em kWh, num dado instante t , k é o intervalo de integração (em horas), η^{ESS} é o rendimento do sistema de armazenamento (ESS) e o EP^{Ch} é a potência média elétrica, em kW, produzida, pelo sistema fotovoltaico e não é usada no consumo. O EP^{Dch} representa a potência média elétrica, em kW, da descarga do sistema de armazenamento num determinado instante t .

Para que se garanta uma maior longevidade do sistema de armazenamento, evitando carregamentos à plena carga e descargas profundas, devem ser respeitados os limites estipulados pelo fabricante das baterias. Devem existir limites como SOC_{min} , SOC_{max} , bem como de taxa de carregamento e descarregamento de eletricidade da bateria, tal que:

$$EP^{Ch}(t) \leq EP_{UL}^{Ch} \quad (3.2)$$

$$EP^{Dch}(t) \leq EP_{LL}^{Dch} \quad (3.3)$$

$$SOC_{min} \leq ES(t) \leq SOC_{max} \quad (3.4)$$

Onde o EP_{UL}^{Ch} é o limite superior de taxa de carregamento e o EP_{LL}^{Dch} é o limite inferior da taxa de descarregamento.

3.1.2. Modelo de Consumo de Energia Elétrica

Consideremos que o *prosumer* tem na sua casa dois conjuntos de aparelhos, isto é, M e N, cuja diferenciação dos mesmos debate-se com a sua classificação relativamente à capacidade de serem ou não passíveis de deslocamento de carga, como já foi estudado na secção 2.3.1.3.

Então, iremos ter um conjunto de eletrodomésticos com cargas deslocáveis M, cuja sua operação pode ser alterada para outro período do dia e, portanto, o seu ciclo de funcionamento pode ser antecipado ou adiado (*shiftable appliances*): $M = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}$. Por outro lado, consideremos o conjunto de aparelhos de cargas não-deslocáveis (*non-shiftable appliances*): $N = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_n\}$ [39].

Consideremos também um agendamento diário durante um tempo t definido por $t = \{1, \dots, T\}$, e que o consumo de energia elétrica dos eletrodomésticos do tipo M e N são estabelecidos pelas seguintes equações [39]:

$$E^a = \sum_{t=1}^T (\sum_{M=1}^m E_{t,m \in M}^a) = \{E_{t1,m \in M}^a + \dots + E_{T,m \in M}^a\} \quad (3.5)$$

$$E^b = \sum_{t=1}^T (\sum_{N=1}^n E_{t,n \in N}^b) = \{E_{t1,n \in N}^b + \dots + E_{T,n \in N}^b\} \quad (3.6)$$

A Equação 3.5 representa o consumo de energia dos eletrodomésticos de carga deslocável e a Equação 3.6 remete para o consumo dos eletrodomésticos de cargas não-deslocável no instante t . O consumo total diário de energia elétrica E^{total} vem:

$$E^{total} = E^a + E^b \quad (3.7)$$

3.1.3. Modelo de Agendamento dos Eletrodomésticos

O principal objetivo do HEMS é minimizar o custo com a compra de eletricidade, maximizando o autoconsumo da produção local do *prosumer* através da integração de sistemas Solar PV e recorrendo à otimização do padrão de consumo de energia elétrica e ao uso do sistema de armazenamento de energia elétrica.

O número de equipamentos domésticos a serem selecionados para uma hora em particular depende do objetivo e das restrições, isto é, por forma a conseguir reduzir o consumo de energia proveniente da rede (E_{grid}), é necessário deslocar o funcionamento dos dispositivos domésticos para períodos de maior produção Solar PV e/ou quando for conveniente para o sistema de armazenamento de energia. Somente na ausência de aproveitamento de energia produzida, o consumo deve ser desviado para períodos com o preço de energia elétrica mais baixo. Deste modo, o consumo de energia elétrica total dos eletrodomésticos deve satisfazer as restrições presentes nas Equações (3.9) e (3.10).

O problema de otimização é definido,

Função Objetiva:

$$E^{total} = E^a + E^b = \min(E_{grid} - E^{PV} - ES) \quad (3.8)$$

Sujeita a:

$$E^{total}(t) \leq E_{grid}(t) + E^{PV}(t) + ES(\tau), \forall 1 \leq t \leq T \quad (3.9)$$

$$\tau_0 \leq \tau_{sch} \leq \tau_{max} \quad (3.10)$$

Onde, E_{grid} é a porção de energia que o sistema elétrica residencial não consegue satisfazer e que tem de ser comprada à RESP no instante t , τ_0 significa o limite inferior do intervalo de tempo de escalonamento de cargas, τ_{sch} por sua vez indica o tempo de escalonamento e τ_{max} o limite superior do intervalo de escalonamento.

3.1.4. Termoacumulador

O Termoacumulador é uma carga importante, responsável por uma grande parte do consumo doméstico de energia. Além disso, por ser uma carga de armazenamento de energia em forma de energia térmica é facilmente deslocável no tempo, não comprometendo os níveis de conforto dos consumidores. Em geral os Termoacumuladores mantêm-se sempre ligados e quando há consumo de água quente, liga para aquecer a água. Tirando partido do armazenamento que tem, em geral, uma utilização de água quente não esgota toda a capacidade armazenada, pode-se adequar o controlo ligando-o nos períodos onde vai haver excesso de produção de eletricidade e de preferência em primeira prioridade em relação ao uso do sistema de armazenamento com baterias.

A Figura 3.1 mostra o esquema de funcionamento do termoacumulador, onde podem-se observar os parâmetros de entrada e as características permanentes ou especificações do termoacumulador. O perfil de consumo e o intervalo de temperatura desejada de água quente são os parâmetros de entrada mais relevantes [38].

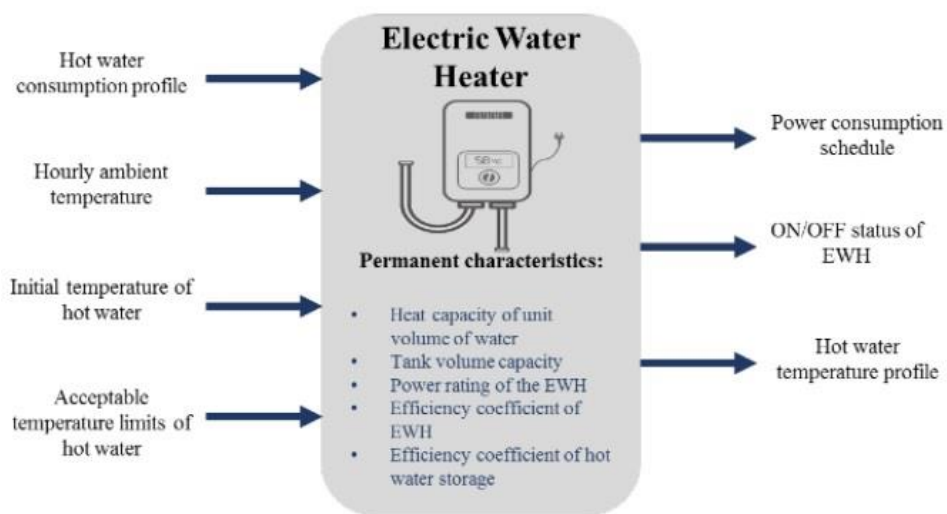


Figura 3. 1- Funcionamento do Termoacumulador [38].

Pela definição do modelo presente em [38], assume-se que a água tem uma temperatura uniforme. Este modelo é válido quando termoacumulador está cheio ou sem água quente. O processo de transferência de calor é modelado pela seguinte equação diferencial de primeira ordem:

$$Q_{elec} - mC_p(T_w - T_{inlet}) + U_{Awh}(T_{amb} - T_w) = C_w \frac{dT_w}{dt} \quad (3.11)$$

Onde Q_{elec} é a capacidade de aquecimento da resistência, m é quantidade de fluxo de água quente, C_p é a capacidade térmica, T_w é a temperatura da água, T_{inlet} é a temperatura de entrada da água, U_{Awh} representa a condutância térmica do tanque, T_{amb} é a temperatura ambiente da habitação e a C_w é o coeficiente térmico da água. Este modelo calcula a temperatura da água num dado tempo, que é usada para controlar o ligar ou desligar de acordo com o seguinte: se $T_w \leq T_{set}$, o termoacumulador liga, se pelo contrário, $T_w \geq T_{set}$ então o termoacumulador desliga.

4. Caracterização do Local de Consumo

O consumidor residencial tem uma potência contratada de 6,9 kVA e uma tarifa bi-horária [35].

4.1. Perfil de Consumo

A informação do perfil de consumos anual é crucial para um correto dimensionamento do sistema de Solar PV com armazenamento para autoconsumo, para que se adeque a instalação às necessidades do cliente, e por forma a identificar as melhores estratégias de gestão de energia na residência.

Para o consumidor em estudo foram utilizados os consumos de um ano completo de 2019, onde se obtiveram os dados relativos ao consumo mensal, com resolução temporal de 15 minutos, dos quais se obtiveram os dados relativos aos consumos mensais, repartido por dias úteis (segunda a sexta) e dos dias de fim-de-semana.

Além disso, foram calculados os consumos médios diários relativos a cada mês.

Nas tabelas seguintes são apresentados os referidos dados.

Análise de energia	Consumo Total [kWh]		
	Dias Úteis	Fim de semana	Mês
Janeiro	615,014	198,263	813,278
Fevereiro	484,150	178,574	662,724
Março	369,198	196,740	565,938
Abril	457,949	126,799	609,652
Maio	301,421	119,672	421,094
Junho	274,816	120,410	395,226
Julho	220,365	97,628	317,231
Agosto	234,487	62,705	308,253
Setembro	222,417	104,208	326,625
Outubro	332,321	100,801	435,181
Novembro	598,455	256,836	855,291
Dezembro	582,754	208,633	791,387
Total	4693,347	1771,270	6501,879

Tabela 4. 1- Dados relativos ao consumo em kWh durante o ano de 2019.

Os dados de consumo apresentados revelam que durante os meses de Inverno e Outono há um maior consumo face aos meses de Primavera e Verão, onde podemos destacar que o mês de maior consumo total foi o mês de janeiro com 813,3 kWh consumidos, e o mês de menor consumo foi o de agosto com um valor de 308,3 kWh. Além disso, podemos aferir que este consumidor residencial apresenta um consumo diferente entre os dias úteis e os dias de fim-de-semana, verificando-se a existência de um maior consumo durante os dias de fim-de-semana.

Análise de energia	Consumo médio [kWh]		
	Dias Úteis	Fim de semana	Mês
Janeiro	26,740	24,783	26,235
Fevereiro	24,207	22,322	23,669
Março	17,581	19,674	18,256
Abril	20,816	15,850	20,322
Maio	13,105	14,959	13,584
Junho	13,741	12,041	13,174
Julho	9,581	12,203	10,233
Agosto	10,658	6,967	9,944
Setembro	10,591	11,579	10,888
Outubro	14,449	12,600	14,038
Novembro	28,498	28,537	28,510
Dezembro	26,489	23,181	25,529
Total			

Tabela 4. 2- Dados relativos ao consumo médio em kWh durante o ano de 2019.

Os gráficos posteriores mostram o consumo médio de um dia útil e de um dia de fim-de-semana para um mês representante de cada estação do ano.

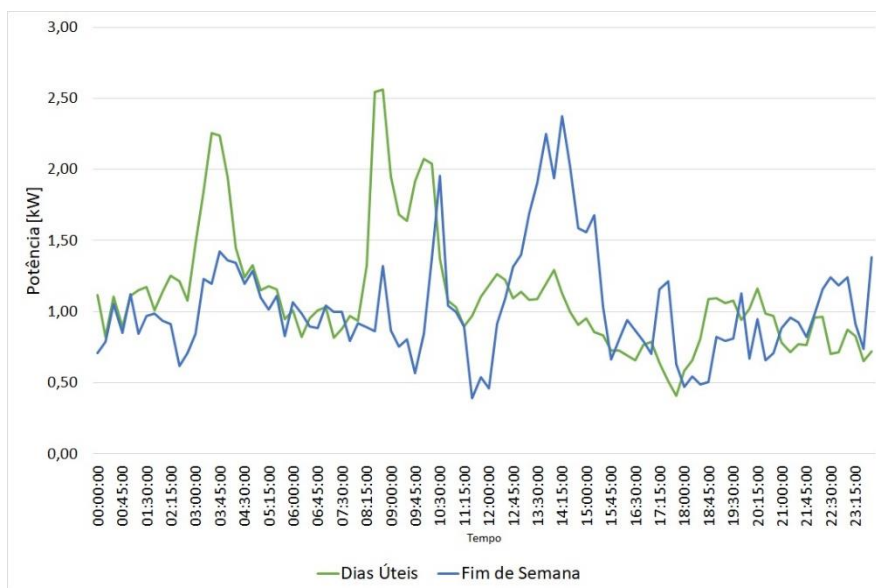


Figura 4. 1- Dados relativos ao consumo médio diário de janeiro (mês representativo de Inverno).

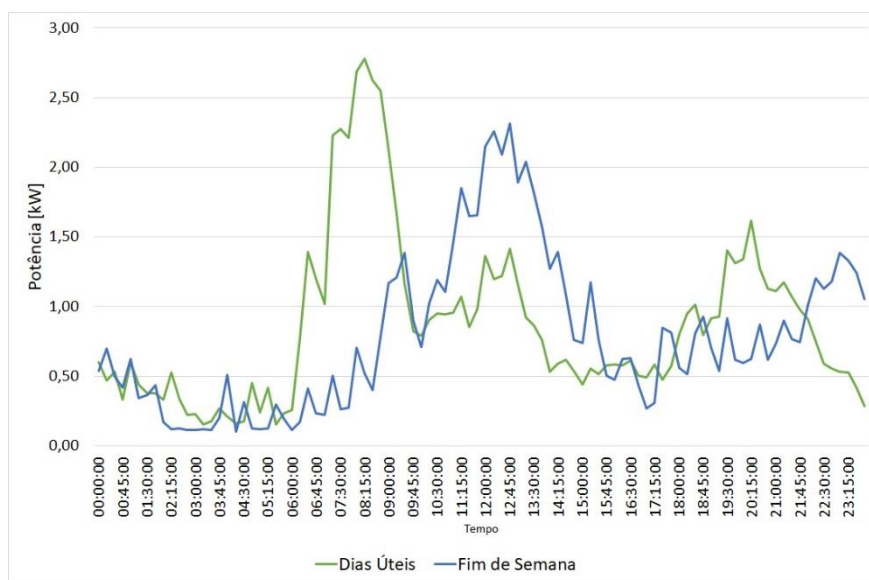


Figura 4. 2- Dados relativos ao consumo médio diário de abril (mês representativo de Primavera).

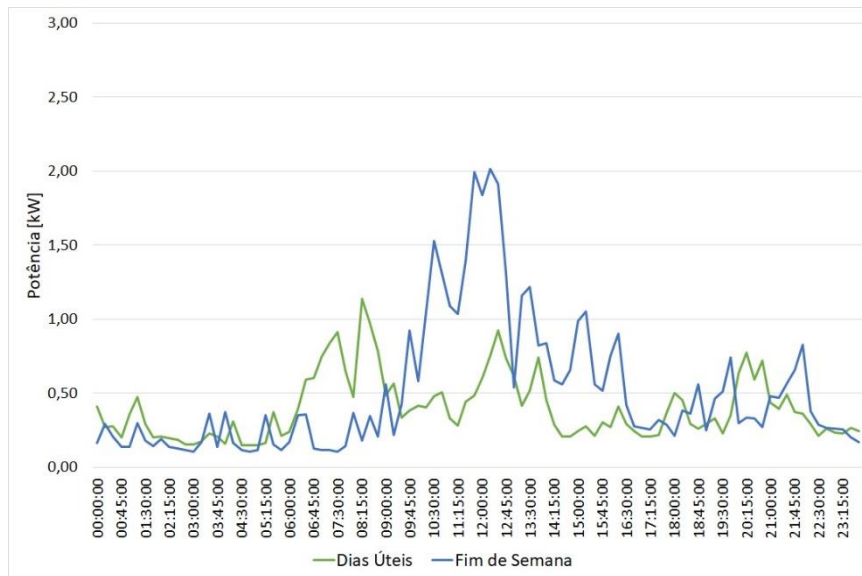


Figura 4. 3- Dados relativos ao consumo médio diário de julho (mês representativo de Verão).

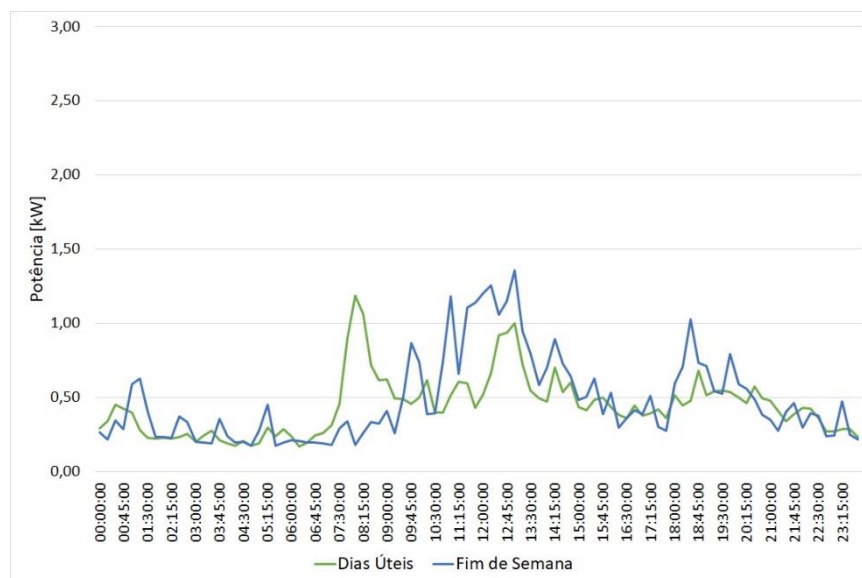


Figura 4. 4- Dados relativos ao consumo médio diário de setembro (mês representativo de Outono).

Conclui-se que há uma forte influência sazonal no consumo em que os maiores consumos acontecem nos meses mais húmidos e frios (janeiro e novembro), ao passo que nos meses mais quentes e secos (julho e agosto) o consumo é muito inferior, como se pode observar nas figuras acima. Em geral, é nos dias de fim-de-semana que se situam os maiores consumos, principalmente no período entre as 9:00 e as 15:00.

4.2. Perfil de Produção

Para o perfil de produção usado para aquela localização, foram disponibilizados também na resolução temporal de 15 minutos, os valores de produção fotovoltaica para um ano inteiro. O gráfico da Figura 4.5 apresenta os valores de produção fotovoltaica média correspondente a um painel de 750W, durante o mês representativo de cada estação do ano.

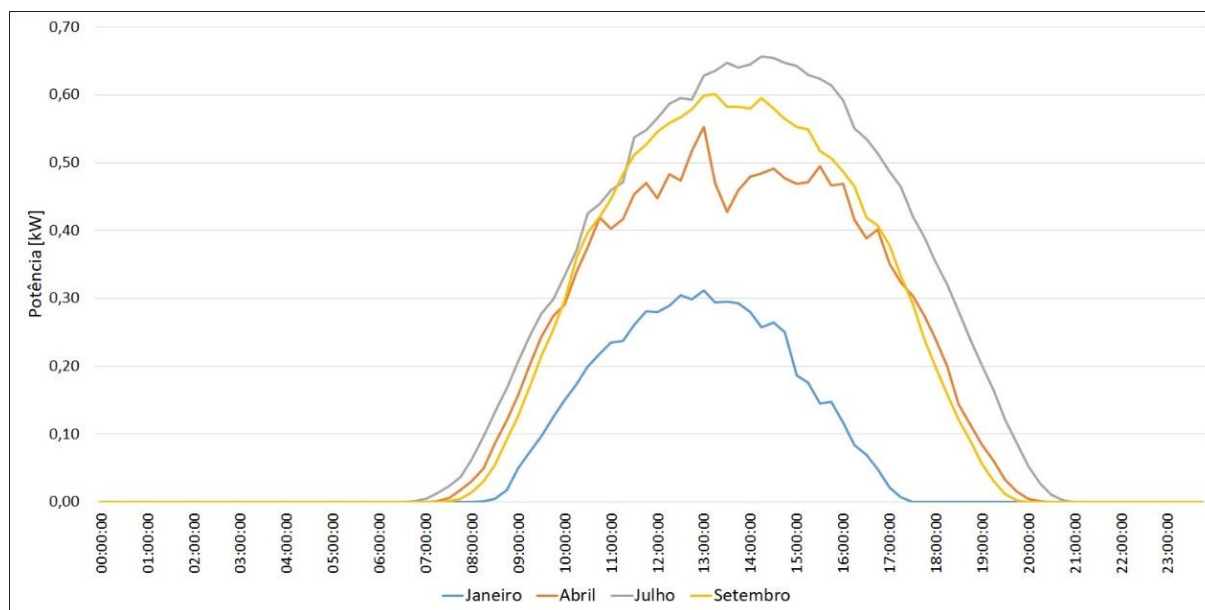


Figura 4.5- Dados relativos à produção média de um painel fotovoltaico de 750W nos meses representativos das estações do ano.

Na Figura 4.5 podemos concluir que a produção solar nos meses de inverno e outono é menor em relação aos meses de verão e primavera. No mesmo gráfico verificamos também que o período horário de exposição solar nos meses de verão e primavera é bastante mais elevado do que nos meses de inverno e outono, assim como o pico máximo atingido em cada estação do ano, sendo o maior no verão e o menor no inverno.

No gráfico da Figura 4.6 estão representados os consumos anuais da habitação e as produções, correspondentes de diferentes potências instaladas nos painéis fotovoltaicos (750W, 1000W, 1250W, 1500W, 2000W e 2250W). Tanto os consumos como as produções são referentes a quatro meses em análise: janeiro, abril, julho e setembro.

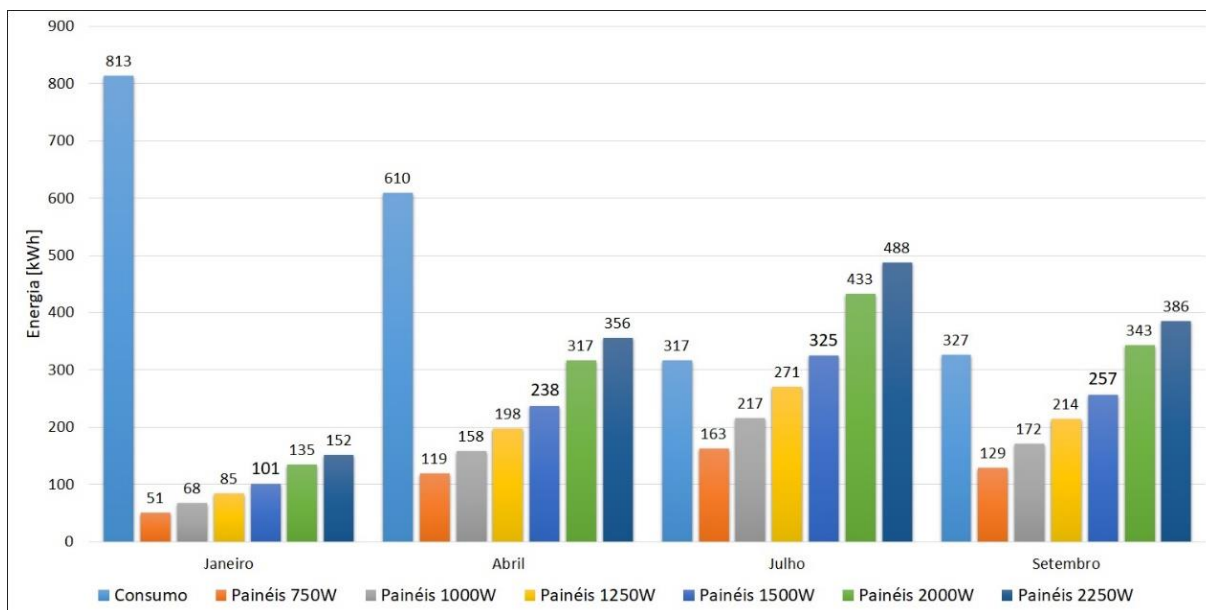


Figura 4. 6- Dados relativos à produção média de cada tipo de painel fotovoltaico conforme os meses representativos das diferentes estações do ano.

No gráfico da figura anterior é possível observar a grande diferença dos valores de produção de energia fotovoltaica entre as diferentes estações do ano, por exemplo, a quantidade de energia produzida por um painel de 2250W no inverno (janeiro) corresponde à que um painel de 750W produz no verão (julho).

A Tabela 4.3 apresenta os valores de produção anual fotovoltaico.

Mês	Potência Painel 750W [kWh]	Potência Painel 1000W [kWh]	Potência Painel 1250W [kWh]	Potência Painel 1500W [kWh]	Potência Painel 2000W [kWh]	Potência Painel 2250W [kWh]
Janeiro	50,72	67,63	84,54	101,45	135,27	152,17
Fevereiro	85,25	113,67	142,09	170,50	227,34	255,76
Março	126,29	168,38	210,48	252,57	336,76	378,86
Abril	118,80	158,40	198,00	237,60	316,80	356,40
Maio	149,41	199,21	249,02	298,82	398,43	448,23
Junho	134,41	179,21	224,01	268,81	358,42	403,22
Julho	162,51	216,68	270,85	325,02	433,36	487,53
Agosto	151,94	202,59	253,24	303,89	405,18	455,83
Setembro	128,64	171,52	214,39	257,27	343,03	385,91
Outubro	91,96	122,61	153,27	183,92	245,23	275,88
Novembro	72,67	96,89	121,12	145,34	193,79	218,01
Dezembro	56,08	74,77	93,46	112,15	149,53	168,23

Tabela 4. 3- Dados relativos à produção fotovoltaica em kWh para cada mês do ano.

5. Estudo de caso

Neste capítulo são analisados e comparados os resultados obtidos nas simulações resultantes dos cenários em estudo, que combinam várias capacidades de produção fotovoltaica com várias capacidades de armazenamento. O objetivo primordial prende-se com o estudo do comportamento destes sistemas quando agregados à instalação em estudo e de que forma pode o HEMS intervir para melhorar a gestão de energia na habitação, tendo em conta as suas especificidades e funcionalidades. Isso passa por estudar a viabilidade para cada cenário, e determinar qual ou quais são os mais promissores. Foram, portanto, considerados 3 cenários.

O Cenário 1 corresponde a uma habitação com uma UPAC sem qualquer tipo de sistema de armazenamento de energia. O Cenário 2 corresponde a uma habitação com uma UPAC com recurso a uma capacidade de armazenamento de energia de 4 kWh. E por último, o Cenário 3 explora uma habitação com uma UPAC com recurso a uma capacidade de armazenamento de energia de 8 kWh. Os restantes cenários possíveis que foram explorados, encontram-se no Apêndice B.1, juntamente com o resumo dos resultados nas figuras do Apêndice A (Figura A.1; A.2; A.3; A.4).

Além disso, no final do capítulo, são apresentados alguns dados sobre o Termoacumulador para se perceber de que forma pode este tipo de carga deslocável ser útil numa implementação com o HEMS.

5.1. Metodologia usada no tratamento de dados

Considerando o estudo sobre os consumos durante o ano de 2019, em intervalos de 15 minutos, que constam no Capítulo 4, para as diferentes potências dos painéis fotovoltaicos, foram analisadas, para todas as estações do ano, as capacidades de bateria que levam a uma melhor utilização da energia produzida, e que traduzem numa maior autossuficiência, com o objetivo de armazenar a energia em excesso produzida pelos painéis fotovoltaicos e minimizar as trocas de energia com a RESP. Deste modo, foram criadas folhas de cálculo em Excel com os dados de consumo e produção durante todo o ano, e procedeu-se à simulação donde se obtiveram alguns indicadores para cada cenário. Os indicadores mais importantes para o nosso estudo foram: autossuficiência, autoconsumo, o número de horas em que a bateria se encontra a carga máxima e mínima, a quantidade de energia produzida injetada na rede, a quantidade de energia proveniente da rede e o estado de carga da bateria.

Efetua-se a uma análise anual e mensal para cada cenário, assim como uma análise mais detalhada para cada estação do ano por forma a evidenciar as diferenças existentes relativas à sazonalidade. Desta forma, foi escolhido um dia de fim-de-semana e um dia útil de 2019 para diversas estações do ano. Para o Inverno foram escolhidos os dias de 22 de Janeiro (Terça-feira) e 26 de Janeiro (Sábado), para a Primavera foram os dias de 21 de Maio (Terça-feira) e 25 de Maio (Sábado), para o Verão os dias de 23 de Julho (Terça-feira) e 27 de Julho (Sábado), e para o Outono foram escolhidos os dias de 24 de Setembro (Terça-feira) e 28 de Setembro (Sábado).

Considere-se as equações que sustentam a metodologia utilizada:

$$Se (Produção_t - Consumo_t) < 0$$

$$Compra_{t, rede} = (Consumo_t - Produção_t) \quad (5.1)$$

$$Se (Produção_t - Consumo_t) > 0$$

$$Armazenamento_{t, bateria} = (Produção_t - Consumo_t) * (1 - \%_{perdas}) \quad (5.2)$$

As equações 5.1 e 5.2, foram deduzidas da seguinte forma: sempre que o consumo for superior à produção, é necessário recorrer à energia proveniente da rede para colmatar o défice de produção fotovoltaica, ou ao sistema de armazenamento, que se for o caso, deve ser dado sempre prioridade à energia armazenada. Pelo contrário, isto é, no caso de haver um consumo inferior à produção, o consumo é suprido com a energia diretamente produzida pelo sistema fotovoltaico, e o excedente é armazenado nas baterias. No entanto, para salvaguardar a vida útil das baterias, deve-se obedecer aos limites mínimo e máximo de carga das baterias, isto é, garantir que não haja descarga profunda e sobrecarregamento. Para isso consideramos uma profundidade de descarga de 70%, ou seja, um intervalo de utilização das baterias entre 20% e 90% da sua capacidade. Para além disso, considera-se ainda perdas de 5% associadas às trocas de energia com a bateria.

A gestão do carregamento e do descarregamento das baterias é feita através do controlador EMC, que permite que haja um controlo ativo da gestão da energia armazenada nas baterias, segundo o modelo de otimização proposto na secção 3.1.1. do presente documento.

Pelo facto de não haver espaço para a apresentação de todos os cenários possíveis,

apenas serão expostos os cenários para o Verão e Inverno, os restantes resultados encontram-se nos Apêndices A, B.1 e B.2 do anexo deste documento.

5.2. Cenário 1: UPAC 750W + Armazenamento 0kWh

Este cenário corresponde a uma habitação com um sistema para autoconsumo sem armazenamento. Foram explorados os vários cenários relativos às diferentes capacidades de produção instaladas (750W, 1000W, 1250W, 1500W, 2000W, 2250W). No entanto, sem armazenamento, apenas será efetuada uma análise com maior destaque no cenário de 750W.

Na Figura 5.1 é possível observar a comparação entre os painéis de potências diferentes, particularmente entre os 750W, 1000W, 1250W e 1500W. A figura ajuda-nos a perceber o comportamento da UPAC face à produção, injeção, autoconsumo e autossuficiência para o ano inteiro. É possível concluir que a integração de um sistema de produção fotovoltaico na residência em análise irá reduzir o consumo de energia proveniente da RESP. Contudo uma grande parte da energia produzida é injetada na rede, com ou sem remuneração.

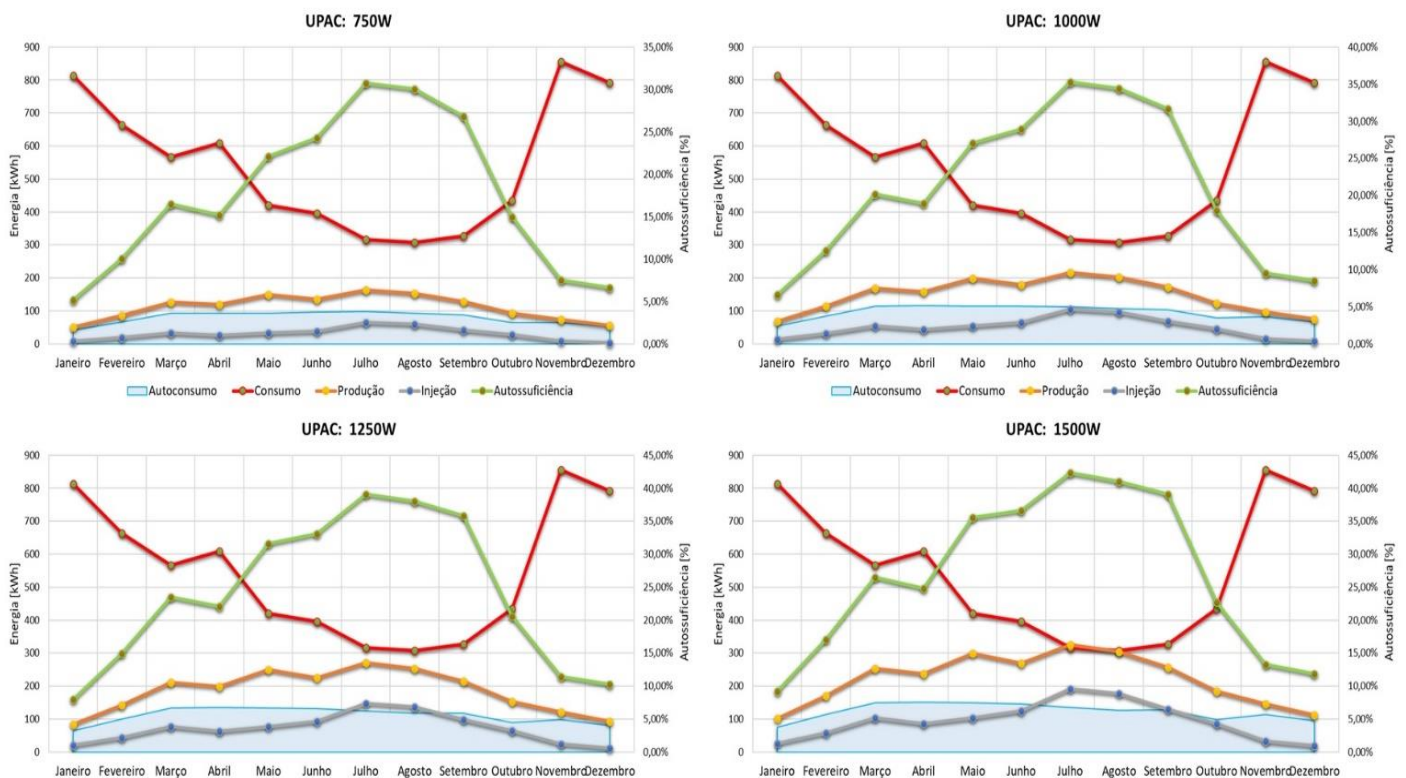


Figura 5. 1- Dados relativos ao consumo, produção, injeção e autossuficiência ao longo do ano, por estações do ano, para diferentes configurações de UPAC.

De seguida é feita uma análise ao longo do ano, de acordo com as estações do ano, especificamente para a UPAC de capacidade de produção instalada de 750W, já que é, de entre as capacidades de produção disponíveis neste estudo, aquela que melhor se adequa, pois garante o maior autoconsumo em relação às outras potências instaladas, de 71,7%. Estes valores podem ser consultados na Tabela 5.1.

5.2.1. Análise durante o Inverno

Nesta secção são apresentados os dados relativos ao Inverno, em particular, a um dia típico de semana, terça-feira, e de fim-de-semana, sábado, do mês de janeiro de um sistema para autoconsumo com uma capacidade de produção fotovoltaica instalada de 750W.

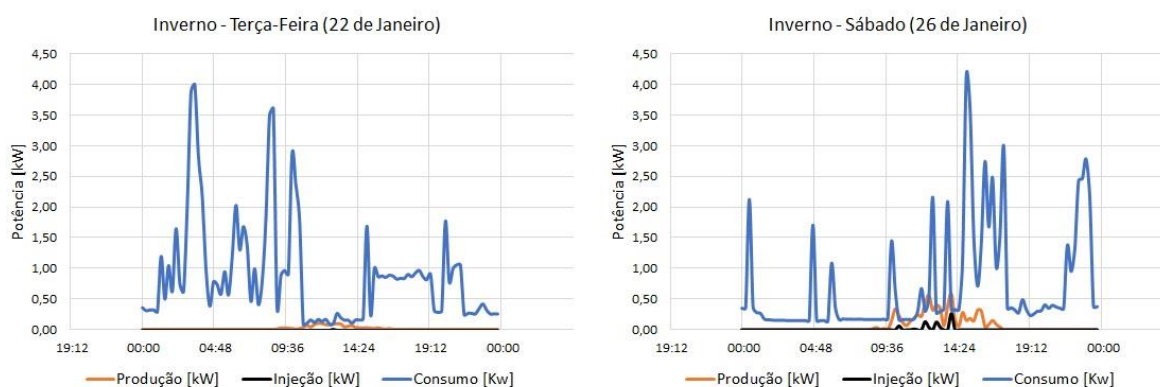


Figura 5. 2- Dados relativos a um dia típico útil e de fim-de-semana representativos do Inverno, respetivamente, para UPAC 750W.

Podemos verificar que os consumos da habitação são elevados nesta época do ano, e que a produção de energia fotovoltaica é muito reduzida. Contudo, nos períodos em que existe produção de energia, observamos injeção do excedentário de energia produzida, que não é aproveitado pelo sistema de autoconsumo, na RESP, nomeadamente entre as 12:00 e as 14:00, como se observa no gráfico de fim-de-semana da Figura 5.2. A variabilidade na produção fotovoltaica que se verifica nos dias do gráfico da Figura 5.2 pode ser justificada pela interferência com a existência de nuvens e a fraca radiação solar que se verifica nesta altura do ano.

5.2.2. Análise durante o Verão

Relativamente ao Verão, foram obtidos os dados sobre o consumo, produção fotovoltaica e injeção nos mesmos conformes que o caso anterior.

No gráfico da Figura 5.3 é possível observar que há injeção de energia na rede assim que a produção fotovoltaica excede o consumo, não havendo forma de armazenar essa energia e o sistema vê-se obrigado a injetar esse excedente na rede.

Numa análise minuciosa, verifica-se que durante o período em que existe produção fotovoltaica, a habitação praticamente não consome energia proveniente da RESP. Por outro lado, no dia útil, particularmente no período entre as 9:00 e as 17:00, existe uma grande quantidade injetada na rede, não remunerada ou remunerada a baixo valor, que poderia de outra forma ser aproveitada na hipótese da existência de um sistema de armazenamento.

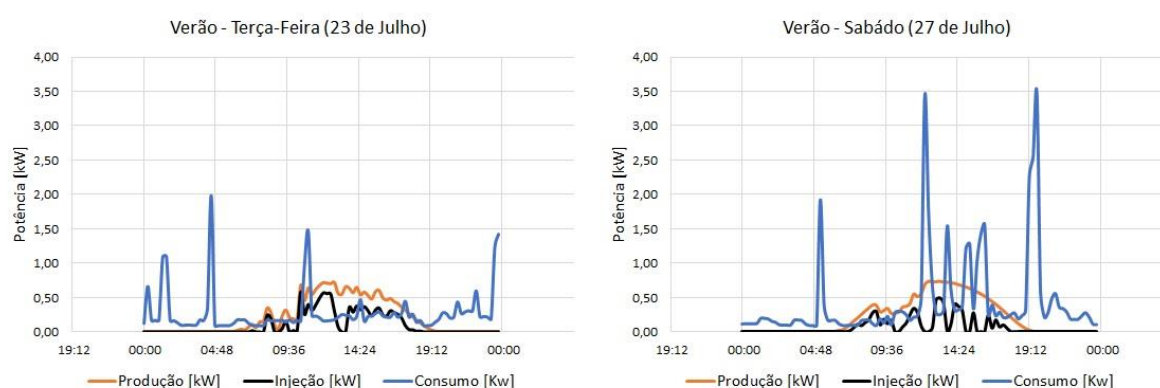


Figura 5. 3- Dados relativos a um dia típico útil e de fim-de-semana representativos do Verão, respetivamente, para UPAC 750W.

5.2.3. Considerações Finais

A Tabela 5.1 mostra alguns indicadores que foram calculados com base nos perfis de produção e consumo da habitação, que constam no Capítulo 4, e que nos ajudam a compreender o comportamento de um sistema para autoconsumo sem recurso a um sistema de armazenamento. Nessa medida são apresentados os valores para diferentes capacidades de produção instalada.

Tabela 5. 1- Dados anuais relativos à UPAC sem recurso a armazenamento.

	Sem Autoconsumo	750W	1000W	1250W	1500W	2000W	2250W
Energia [kWh]	6503,46	5551,01	5350,50	5173,44	5019,18	4760,56	4650,08
Energia Consumida Proveniente da Rede [%]	100%	85,35%	82,27%	79,55%	77,18%	73,20%	71,50%
Energia Produzida [kWh]	-	1328,67	1771,56	2214,46	2657,35	3543,13	3986,02
Poupança Energética com Autoconsumo [kWh]	-	952,45	1152,96	1330,02	1484,28	1742,89	1853,38
Poupança Energética com Autoconsumo [%]	-	14,65%	17,73%	20,45%	22,82%	26,80%	28,50%
Energia Produzida Consumida [kWh]	-	952,45	1152,96	1330,02	1484,28	1742,89	1853,38
Energia Produzida Consumida [%]	-	71,68%	65,08%	60,06%	55,86%	49,19%	46,50%
Energia Produzida Injetada na Rede [kWh]	-	376,22	618,60	884,44	1173,07	1800,24	2132,64
Energia Desperdiçada na Rede [%]	-	28,32%	34,92%	39,94%	44,14%	50,81%	53,50%
Autossuficiência [%]	-	14,65%	17,73%	20,45%	22,82%	26,80%	28,50%

Em síntese, a integração de um sistema de produção fotovoltaico na residência em análise irá reduzir o consumo de energia proveniente da RESP, como demonstrado nas Figuras 5.2 e 5.3. Ainda assim, com aumento da capacidade de produção fotovoltaica instalada, a energia consumida proveniente da rede diminui, e por consequência as poupanças de energia com o autoconsumo devem aumentar. No entanto, é importante destacar que à medida que a capacidade instalada aumenta a energia produzida injetada na rede também aumenta, ainda que segundo os indicadores a energia proveniente da rede diminuía, sugerindo assim a implementação de um sistema de armazenamento, como se percebe com base nos dados da Tabela 5.1.

A escolha da melhor solução não é linear, já que um dado indicador pode melhorar e outro pode, conseqüentemente, piorar. É por isso importante determinar a solução que viabilize tanto economicamente como tecnicamente, e satisfaça o pretendido, ou por outras palavras, encontrar a solução compromisso.

5.3. Cenário 2: UPAC 1250W + Armazenamento 4 kWh

Neste cenário procedeu-se à análise de um sistema para autoconsumo com capacidade armazenamento de 4kWh e consideramos uma UPAC com uma capacidade de produção fotovoltaica instalada de 1250W. À semelhança das análises anteriores, este cenário foi estudado para as diferentes estações do ano.

5.3.1. Análise durante o Inverno

Na Figura 5.4, que se apresenta abaixo, é possível observar o comportamento deste cenário na semana representativa de Inverno, particularmente nos dois dias típicos de dia útil e fim-de-semana.

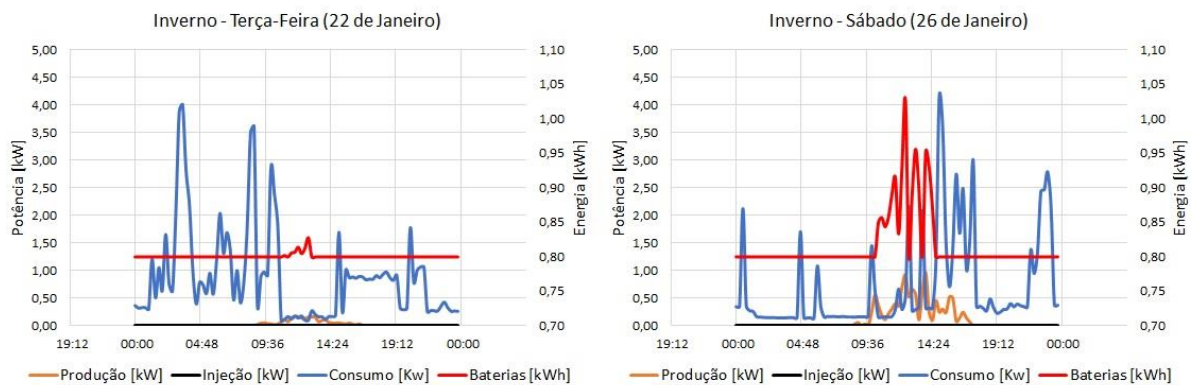


Figura 5. 4- Dados relativos a um dia típico útil e de fim-de-semana representativos do Inverno, respetivamente, para UPAC 1250W + 4kWh.

Como se consegue observar em relação aos dois dias em estudo, é possível notar que durante o dia útil a bateria praticamente não foi solicitada, e só foi utilizada durante o período em que houve produção fotovoltaica, entre as 11:00 e o 12:00.

Além disso, neste cenário durante o Verão, conclui-se que a presença de um sistema de armazenamento levou a que houvesse uma menor troca de energia com a RESP.

Com base na Figura 5.4 e a Figura 5.6, podemos destacar que durante este mês a bateria passa 88% do tempo à carga mínima e nunca atinge a capacidade máxima.

5.3.3. Análise durante o Verão

A Figura 5.5 ilustra o comportamento de um sistema para autoconsumo com armazenamento em dois dias representativos do Verão, isto é, um dia típico útil, terça-feira, e de fim-de-semana, sábado.

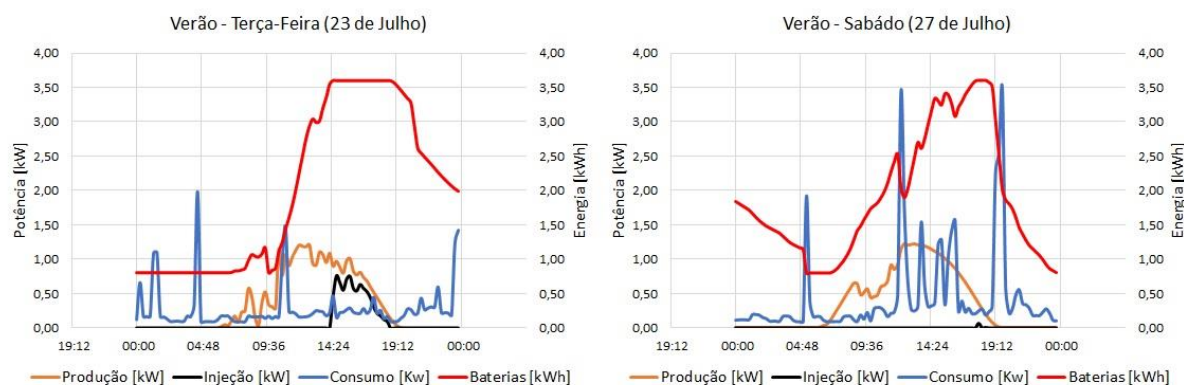


Figura 5. 5- Dados relativos a um dia típico útil e de fim-de-semana representativos do Verão, respetivamente, para UPAC 1250W + 4kWh.

Na Figura 5.5 é possível verificar que, durante o dia de útil, o consumo da habitação só é igual à energia proveniente da RESP num curto espaço de tempo, mais concretamente, entre a 0:00 e as 6:00.

Comparativamente ao cenário anteriormente abordado, o consumo de energia proveniente da RESP é agora ainda mais pequeno. Com esta capacidade de armazenamento e produção, num dia limpo de Verão, como é o caso, o sistema para autoconsumo é capaz de colmatar quase todas as necessidades energéticas da habitação.

Em comparação com o mês de janeiro, a bateria passa consideravelmente menos tempo à carga mínima, ou seja, cerca de 30% do tempo a bateria encontra-se na capacidade mínima de armazenamento (0,8 kWh). Por outro lado, em julho, esta consegue passar cerca de 11% do tempo à carga máxima (3,6 kWh), o que significa que toda a energia excedentária produzida durante esses períodos é injetada na rede, não sendo utilizada para suprir as necessidades energéticas da habitação noutra momento.

5.3.5. Considerações Finais

A Figura 5.6, e a Tabela B.1.1 presente no Apêndice B.1, permitem tecer algumas considerações sobre este cenário.



Figura 5. 6- Dados relativos à utilização da bateria e autossuficiência ao longo do ano no cenário de UPAC 1250W + 4kWh.

Esta é uma solução bastante interessante já que se consegue obter uma autossuficiência no valor de 30% ao ano, como se pode consultar na Figura A.4 do apêndice A. Além disso, verifica-se um maior aproveitamento da energia anual produzida correspondente a 88%, comparativamente ao sistema sem armazenamento, que consta na Tabela B.1.1 . No entanto, o valor de energia produzida injetada na rede, que começa a ter alguma importância e não é de todo desprezável atingindo no Verão um máximo de 16%, no mês de julho, e um valor mínimo no Inverno de praticamente 0%, no mês de janeiro.

Através de uma análise mensal, disponível na Tabela B1.1 do Apêndice B.1, é possível verificar que nos meses de Verão esta solução apresenta valores muito promissores em termos de autossuficiência em torno dos 68% no mês de julho, elevado aproveitamento da energia produzida, pouca energia injetada na rede e uma redução no consumo da energia proveniente da RESP de em relação aos meses de Inverno.

Em relação ao sistema de armazenamento, os valores são também bastantes interessantes, visto que, nos meses de Verão, as baterias só se encontraram à carga máxima e mínima poucas vezes, e por isso foram utilizadas durante mais tempo, garantindo um nível de autossuficiência em torno dos 50% a 70%.

No entanto, e como se verificou também para o cenário anterior, continua a haver uma diferença considerável de produção fotovoltaica no Verão em relação ao Inverno, o que justifica o elevado consumo de energia proveniente da rede, entre 90% a 70 %, e consequentemente a baixa autossuficiência, entre 10% a 35%.

5.4. Cenário 3: UPAC 1250W + Armazenamento 8 kWh

Neste cenário, à semelhança do anterior, procedeu-se à análise de um sistema para autoconsumo com capacidade armazenamento através de baterias. Consideremos uma UPAC de capacidade de produção fotovoltaica instalada de 1250W auxiliado por baterias de 8 kWh de capacidade.

5.4.1. Análise durante o Inverno

Relativamente ao Inverno, a Figura 5.7 mostra o comportamento deste cenário para dois dias da semana representativa de Inverno: o dia útil, terça-feira, e de fim-de-semana, sábado, respetivamente.

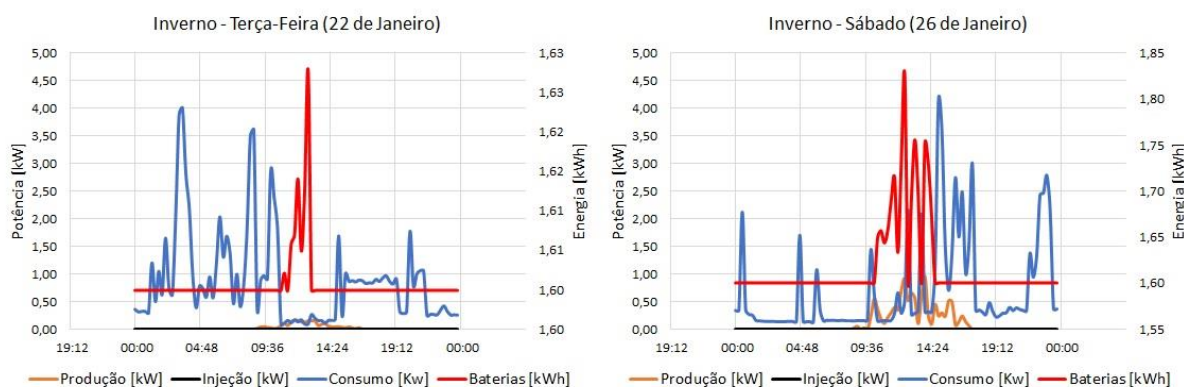


Figura 5. 7- Dados relativos a um dia típico útil e de fim-de-semana e representativos do Inverno, respetivamente, para UPAC 1250W + 8kWh.

Como seria de esperar, no Inverno, os consumos são elevados para a produção fotovoltaica que se tem ao dispor, embora este sistema consiga satisfazer algum tipo de autoconsumo, não se compara aos valores obtidos nos meses de Verão, como veremos adiante. Ainda assim este sistema consegue, no dia útil, alimentar a habitação durante o período das 10:00 até às 13:00, apenas recorrendo a energia proveniente do sistema fotovoltaico ou das baterias. No dia de fim-de-semana verifica-se que o consumo de energia proveniente da rede é bastante superior em relação à energia produzida consumida, sendo que apenas entre as 10:00 e 15:00 foi possível satisfazer o autoconsumo.

Conclui-se também que durante o Inverno as baterias estão à carga mínima, entre os 65% e os 85% do tempo, como se vê na Figura 5.9.

5.4.2. Análise durante o Verão

Na figura seguinte é possível observar o comportamento deste cenário para dois dias de uma semana representativa de Verão: o dia útil, terça-feira, e de fim-de-semana, sábado, respetivamente.

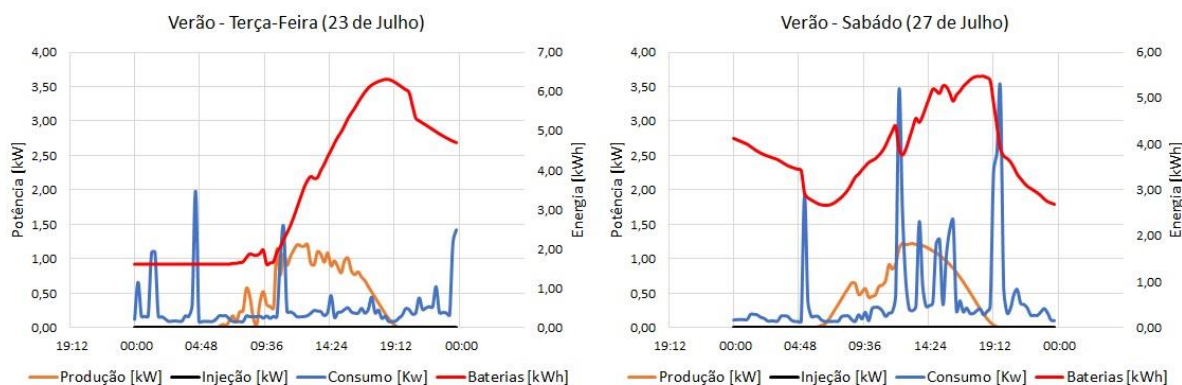


Figura 5. 8- Dados relativos a um dia útil típico e de fim-de-semana representativos do Verão, respetivamente, para UPAC 1250W + 8kWh.

Comparativamente ao cenário anteriormente abordado, para o mesmo mês, o consumo de energia proveniente da RESP é inferior. Com esta capacidade de armazenamento e produção, num dia limpo de Verão como é o caso, o sistema para autoconsumo é capaz de colmatar quase todas as necessidades energéticas da habitação.

5.4.3. Considerações Finais

A Figura 5.9 e a Tabela B.1.2 apresenta no Apêndice B.1, permitem tecer algumas considerações sobre este cenário.

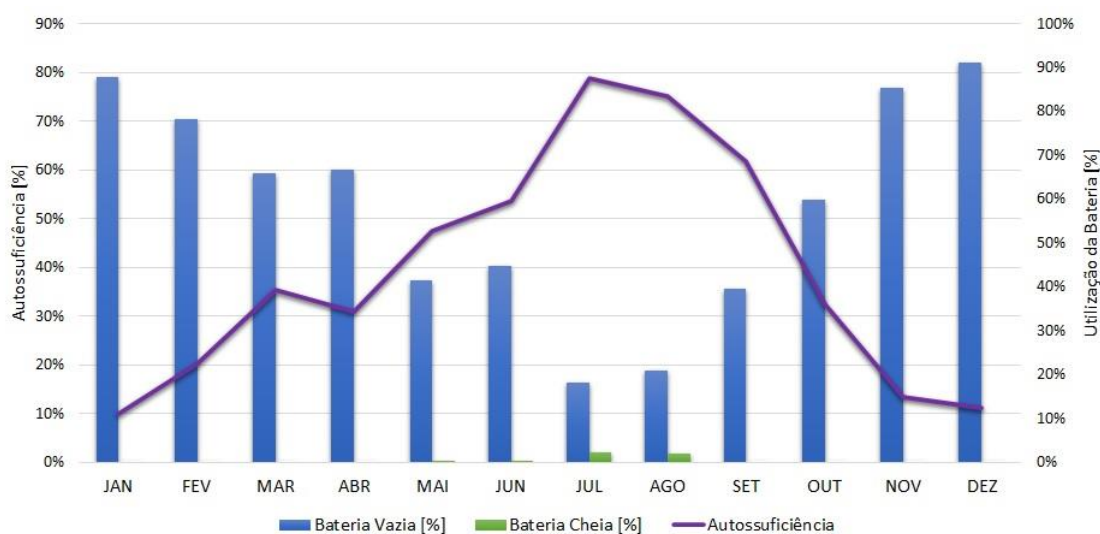


Figura 5. 9- Dados relativos à utilização de bateria e autossuficiência para UPAC 1250W+8kWh.

É possível concluir que com o aumento da capacidade de produção e da capacidade de armazenamento, tem-se verificado um aumento no nível de autossuficiência. No entanto a energia produzida que é injetada na rede também aumenta.

Em suma, este cenário assegura uma maior autossuficiência em relação ao cenário anterior, à volta de 32% ao ano, como se vê na Figura A.4 do Apêndice A. Além disso, a energia produzida que é injetada na rede é inferior ao observado para o cenário com baterias de menor capacidade.

Conseguimos destacar que durante os meses de Verão, o consumo de energia proveniente da RESP foi mais reduzido, entre os 20% e os 45%. Por outro lado, nos meses de Inverno, continua-se a observar uma elevada dependência do sistema com a RESP, já que esse valor atinge, concretamente no mês de janeiro, os 90%.

Podemos ainda referir que durante os meses de Verão houve melhor utilização das baterias, como podemos perceber através da figura acima e da tabela referida, e portanto a taxa de utilização em carga máxima foi reduzida e à carga mínima apenas se verificou em 20% a 40% do tempo, não obstante, a autossuficiência verificada foi bastante satisfatória, entre os 54% e 79%.

5.5. Termoacumulador

Na residência que serviu os dados de consumo para este trabalho, encontra-se instalado um Termoacumulador de 1500W de potência e com uma capacidade de 80 litros de água. Como é descrito previamente, nas secções 3.1.4. e com base nas categorias dos equipamentos eletrodomésticos, na secção 2.3.1.3. , este é definido como uma carga deslocável , no qual se poderá agendar a sua utilização para horas do dia em que há produção de energia fotovoltaica ou o sistema de armazenamento de energia se encontre apto a sustentar a sua utilização de energia.

Na figura seguinte está apresentado o diagrama de carga diário de acordo com o funcionamento do Termoacumulador quando este tem um controlo por relógio e quando não tem qualquer tipo de controlo. Posto isto, obtivemos os dados para uma semana com o controlo OFF, entre 23 de março a 29 de março, e os dados do controlo ON para a semana adjacente, entre 30 de março a 5 de novembro, que podem ser consultados na Figura A2.1 presente no apêndice A deste documento.

Para uma análise minuciosa e por falta de espaço, apenas estão apresentados os diagramas de carga dos dias 23 de março (controlo OFF) e 5 de novembro (controlo ON), retirados nas mesmas circunstâncias, em semanas adjacentes, e ambos o mesmo dia de semana.

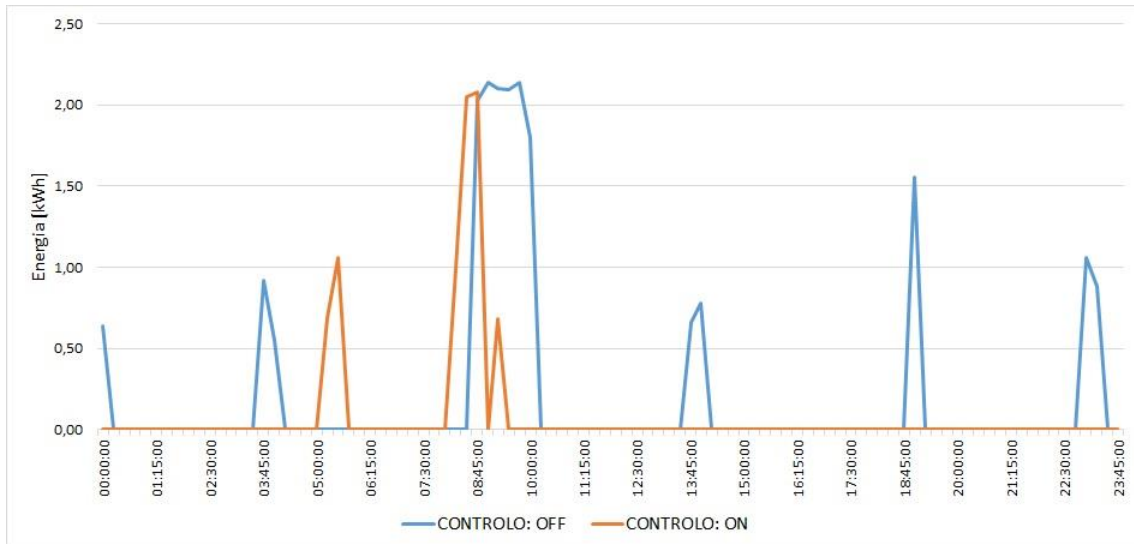


Figura 5. 10- Controlo do Termoacumulador para dois dias úteis, segunda-feira, de semanas adjacentes, em março.

Observa-se aquilo que já sabíamos, ou seja, o termoacumulador é um ótimo dispositivo para ser gerido por um HEMS, ajudando a armazenar os excedentes de produção na forma de energia térmica, conseguindo-se deslocar a carga elétrica para períodos que favoreça o autoconsumo.

6. Conclusão

6.1. Conclusões

O trabalho desenvolvido para esta dissertação teve como objetivo estudar os sistemas de produção fotovoltaica com armazenamento para autoconsumo no contexto residencial. Além disso foi feito um levantamento do estado de arte do HEMS: conceito, arquitetura, infraestrutura e modelos relativos ao controlador EMC.

Através da análise dos perfis de consumo e de produção obtidos para o ano de 2019, foram calculados alguns indicadores que serviram para estudar o comportamento de um sistema em duas situações distintas: sistema de UPAC com e sem armazenamento de energia. Foram explorados diferentes cenários segundo diversas combinações de capacidades de produção fotovoltaica e de armazenamento.

Foi possível verificar que durante o ano de 2019, houve um maior consumo de energia nos meses de Inverno e Outono. Períodos do ano característicos de menor capacidade de produção fotovoltaica. Desta forma, efetuou-se uma análise separada para cada estação do ano, sendo escolhido um mês característico de cada estação do ano (janeiro, maio, julho, setembro), para a qual se usaram valores de consumo e produção com uma resolução de quinze minutos.

A primeira conclusão que se retira diz respeito ao impacto da sazonalidade neste tipo de sistemas, dado que as diferenças são realmente grandes em alguns dos casos estudados evidenciando os problemas de dimensionamento.

Entendemos, a partir dos resultados obtidos, que na implementação deste tipo de sistemas é importante analisar os perfis de consumos e de produção para todas as estações do ano, e conseqüentemente identificar a solução que comprometa o menos possível e que seja adequada para todo o ano, ou por outras palavras, identificar a solução compromisso. Embora não tenhamos feito uma análise económica, por razões de falta de informações ao nível do custo comercial da implementação de um Smart HEMS, podemos referir que as poupanças energéticas foram bastante reveladoras para os diferentes cenários em estudo.

Através dos resultados obtidos para Cenário 1 (UPAC 750W sem armazenamento), podemos perceber que seria útil a instalação de um sistema de armazenamento para colmatar o excesso de produção solar fotovoltaica.

Relativamente aos UPAC com armazenamento, particularmente no Cenário 2

(UPAC 1250W + 4kWh) e no Cenário 3 (UPAC 1250W + 8kWh), obtiveram-se melhores valores para alguns indicadores comparativamente ao Cenário 1 (750W sem armazenamento), mas a diferença entre as poupanças energéticas é de apenas 2% entre os Cenários 2 e 3, como se pode consultar na Figura A.1 do Apêndice A. Daí que seja justificável escolher a capacidade de bateria inferior e recorrer, por exemplo, ao controlo do HEMS para cargas deslocáveis como o Termoacumulador. Deste modo a utilização de um modelo de agendamento de cargas dos eletrodomésticos faria todo o sentido para melhorar a utilização das baterias e aumentar o aproveitamento de energia elétrica produzida, conseguindo em última análise aumentar a autossuficiência do edifício.

Em suma, os sistemas de produção solar fotovoltaica para autoconsumo com recurso ao sistema de armazenamento são uma opção eficaz, e imprescindível na implementação de um Smart HEMS, já que possibilitam uma maior integração das energias renováveis em edifícios residenciais, e promovem a gestão otimizada da produção com o sistema de armazenamento em função das necessidades energéticas da habitação.

6.2. Desafios Futuros

Com perspectiva ao prosseguimento do trabalho, podem mencionar-se algumas sugestões para trabalhos futuros.

Para começar, seria interessante estudar o suporte através de técnicas de *Machine-Learning* e Inteligência Artificial que possam substituir, ou facilitar, o envolvimento do *prosumer* nas definições dos sistemas: parâmetros, decisões, acessos, medições e verificações.

Podem também serem explorados os mecanismos de agendamento de aparelhos eletrodomésticos com algoritmos de programação não-linear mais conceituados, tipo BPSO e GA, para uma residência com as mesmas configurações que a estudada.

Referências

- [1] Portal Energia and IST, “Energia Fotovoltaica - Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação.” pp. 1–368, 2004.
- [2] Portal das Energias Renováveis, “Mapa de radiação na Europa” [Online] Available: http://www.energiasrenovaveis.com/DetailheConceitos.asp?ID_conteudo=47&ID_area=8&ID_sub_area=27 [Accessed: Mar-2020].
- [3] European Commission, “Solar Radiation and Photovoltaic Electricity Potencial.” [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm>. [Accessed: Mar-2020].
- [4] SOLARGIS, “Solar Resource Map.” [Online]. Available: <http://solargis.com/products/mapsand-gis-data/free/download/portugal>. [Accessed: Mar-2020].
- [5] APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis, “Impacto Macroeconómico do Setor da Eletricidade de Origem Renovável em Portugal.”
- [6] Direção Geral de Energia e Geologia, “Renováveis - Estatísticas Rápidas n.o 182.”, 2020.
- [7] A. Soares, A. Gomes, M. IEEE, and C. H. Antunes, “Domestic Load Characterization for Demand- Responsive Energy Management Systems”, IEEE Int. Symp. Sustain. Syst. Technol., pp. 1–6, 2012.
- [8] G. H. Yordanov, O. Midtgård, L. Norum, “Overirradiance (cloud enhancement) events at high latitudes”, Environmental Science, IEEE 38th Photovoltaic Specialists Conference 2013.
- [9] F. Pinto, “Regime Jurídico das Unidades de Produção (UP) Distribuída,” pp. 1–28, 2015.
- [10] P. S. Moura, F. M. Vieira, G. L. López, J. I. Moreno, and A. T. de Almeida, “Demand Response and Energy Storage for Zero Energy Residential Buildings.” Coimbra, Portugal, pp. 1–11, 2015.
- [11] Bin Zhou, Wntao Li, Ka Wing Chan, YijiaCao, Yonghong Kuang, Xi Liu, Xiong Wang. “Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2016.
- [12] Ramya, C. Muthu; Shanmugaraj, M; Prabakaran, R. “Study on ZigBee Technology”. In: 3rd International Conference on Electronics Computer Technology. Kanyakumari, India, April 8-10, 2011, p. 297-301.
- [13] Kabalci, Y. “A survey on smart metering and smart grid communication”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 57, n.1, p. 302-318, 2016.

- [14] Jaclason Machado Veras and Ph.D. Plácido Pinheiro, Ph.D. Ricardo Rabêlo, “Home Energy Management System: A Multi-objetive Optimization Model for Scheduling Loads”. University of Fortaleza, Brazil 2019.
- [15] Al-Ali, A.R., El-Hag, A., Bahadiri, M., Harbaji, M., El Haj, Y.A. “Smart home renewable energy management system”. *Energy Procedia* 12, 120–126 2011.
- [16] Son, Y.S., Pulkkinen, T., Moon, K.D., Kim, C. “Home energy management system based on power line communication”. *IEEE Trans. Consum. Electron.* 56(3), 1380–1386 2010.
- [17] Nacer, A., Marhic, B., Delahoche, L. “Smart home, smart hems, smart heating: an overview of the latest products and trends”. In: 2017 6th International Conference on Systems and Control (ICSC), pp. 90–95. IEEE 2017.
- [18] B. J. Kirby, “Load Response Fundamentally Matches Power System Reliability Requirements,” 2007 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet. PES, pp. 1–6, 2007.
- [19] P. S. Moura, G. L. López, J. I. Moreno, and A. T. de Almeida, “Impact of Residential Demand Response on the Integration of Intermittent Renewable Generation into the Smart Grid.” pp. 1–12, 2013.
- [20] Costanzo GT, Guchuan Zhu MF, Anjos, Savard G. “A system architecture for autonomous demand side load management in smart buildings”. *IEEE Trans Smart Grid* 2012.
- [21] Chen C, Wang J, Kishore S. A distributed direct load control approach for large-scale residential demand response; 2014.
- [22] Marc Beaudin, Hamidreza Zareipour. “Home energy management systems: A review of modelling and complexity”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015.
- [23] Llaria Alvaro, Jiménez Jaime, Curea Octavian. “Study on communication technologies for the optimal operation of smart grids”. *Trans Emerg Telecommun Technol* 2013.
- [24] ERSE, “Regulamento do autoconsumo de energia elétrica”, Regulamento nº2, Decreto-Lei nº162/2019, 2020.
- [25] FF SOLAR, “Autoconsumo vs. Pequena Produção”, 2017.
- [26] S. C. Godinho, “Sistemas para Autoconsumo.” Instituto Politécnico de Tomar.
- [27] “Fotovoltaico.” [Online]. Available: <http://www.energia.pt/pt/fotovoltaico>. [Accessed: 11Nov-2017].
- [28] European Photovoltaic Industry Association, “Self-Consumption of PV Electricity.” pp. 1– 17, 2013.
- [29] Pedro Nuno Umbelino Campos Correia, “Estudo de Sistema de Produção Fotovoltaica com Armazenamento para Autoconsumo numa Instalação Residencial”. FCTUC, Portugal, 2017.

- [30] K. C. Divya and J. Ostergaard, “Battery Energy Storage Technology for Power Systems - An Overview.” pp. 511–520, 2009.
- [31] D. Kottick, M. Blau, and D. Edelstein, “Battery Energy Storage for Frequency Regulation in an Island Power System.” pp. 455–459, 1993.
- [32] critical-kinetics.pt, Energias Renováveis.
- [33] P. S. Moura, “Energia Solar Fotovoltaica.” pp. 1–93, 2017.
- [34] S. Vazquez, S. M. Lukic, E. Galvan, L. G. Franquelo, and J. M. Carrasco, “Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications,” vol. 57, pp. 3881–3895, 2010.
- [35] “Períodos Horários na Energia Elétrica em Portugal”, ERSE, 2018.
- [36] Stadler M, Krause W, Sonnenschein M, Vogel U. “Modelling and evaluation of control schemes for enhancing load shift of electricity demand for cooling devices”. Environ Model Softw 2009.
- [37] Lu Ning, Chassin DP. “A state queueing model of thermostatically controlled appliances”. In: Proceedings of IEEE PES power systems conference and exposition; 2004.
- [38] M. Pfeiffer, “Load Control Strategies for Electric Water Heaters with Thermal Stratification”, Power Systems Laboratory - Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, 2011.
- [39] Adnan Ahmad, Asif Khan, Nadeem Javaid, Hafiz Hussain, Wadood Abdul, Ahmad Almogren, Atif Alamri and Iftikhar Niaz, “An Optimized Home Energy Management System With Integrated Renewable Energy and Storage Resources”, Energies 2017, MDPI Journal, 2017.

Anexos

Anexo A – Resumos

Autoconsumo		750 W	1000 W	1250 W	1500 W	2000 W	2250 W
Sem Bateria		71,68%	65,08%	60,06%	55,86%	49,19%	46,50%
Bateria	2 kWh	89,50%	84,47%	78,57%	73,26%	64,08%	60,15%
	4 kWh	92,61%	91,24%	88,01%	83,15%	73,35%	69,21%
	6 kWh	92,72%	93,29%	92,04%	89,01%	80,37%	75,98%
	8 kWh	92,72%	93,46%	93,73%	92,05%	84,88%	80,57%
	10 kWh	92,72%	93,47%	94,16%	93,42%	87,40%	83,37%

Figura A. 1- Resultado Simulação: Autoconsumo.

Injeção		750 W	1000 W	1250 W	1500 W	2000 W	2250 W
Sem Bateria		28,32%	34,92%	39,94%	44,14%	50,81%	53,50%
Bateria	2 kWh	3,31%	9,39%	16,03%	22,12%	32,52%	36,85%
	4 kWh	0,12%	2,26%	6,61%	12,09%	23,09%	27,74%
	6 kWh	0,00%	0,19%	2,26%	6,00%	16,07%	20,97%
	8 kWh	0,00%	0,00%	0,63%	3,01%	11,64%	16,41%
	10 kWh	0,00%	0,00%	0,19%	1,70%	9,29%	13,73%

Figura A. 2- Resultados Simulação: Injeção.

Compra		750 W	1000 W	1250 W	1500 W	2000 W	2250 W
Sem Bateria		85,35%	82,27%	79,55%	77,18%	73,20%	71,50%
Bateria	2 kWh	81,70%	76,98%	73,24%	70,05%	65,08%	63,12%
	4 kWh	81,07%	75,14%	70,02%	66,01%	60,03%	57,57%
	6 kWh	81,05%	74,58%	68,65%	63,62%	56,20%	53,42%
	8 kWh	81,05%	74,53%	68,07%	62,38%	53,75%	50,61%
	10 kWh	81,05%	74,53%	67,93%	61,82%	52,37%	48,89%

Figura A. 3- Resultados Simulação: Compra.

Autossuficiência		750 W	1000 W	1250 W	1500 W	2000 W	2250 W
Sem Bateria		14,65%	17,73%	20,45%	22,82%	26,80%	28,50%
Bateria	2 kWh	18,28%	23,01%	26,75%	29,94%	34,91%	36,87%
	4 kWh	18,92%	24,85%	29,97%	33,98%	39,96%	42,42%
	6 kWh	18,94%	25,41%	31,34%	36,37%	43,79%	46,57%
	8 kWh	18,94%	25,46%	31,92%	37,61%	46,24%	49,38%
	10 kWh	18,94%	25,46%	32,06%	38,17%	47,62%	51,10%

Figura A. 4- Resultados Simulação: Autossuficiência.

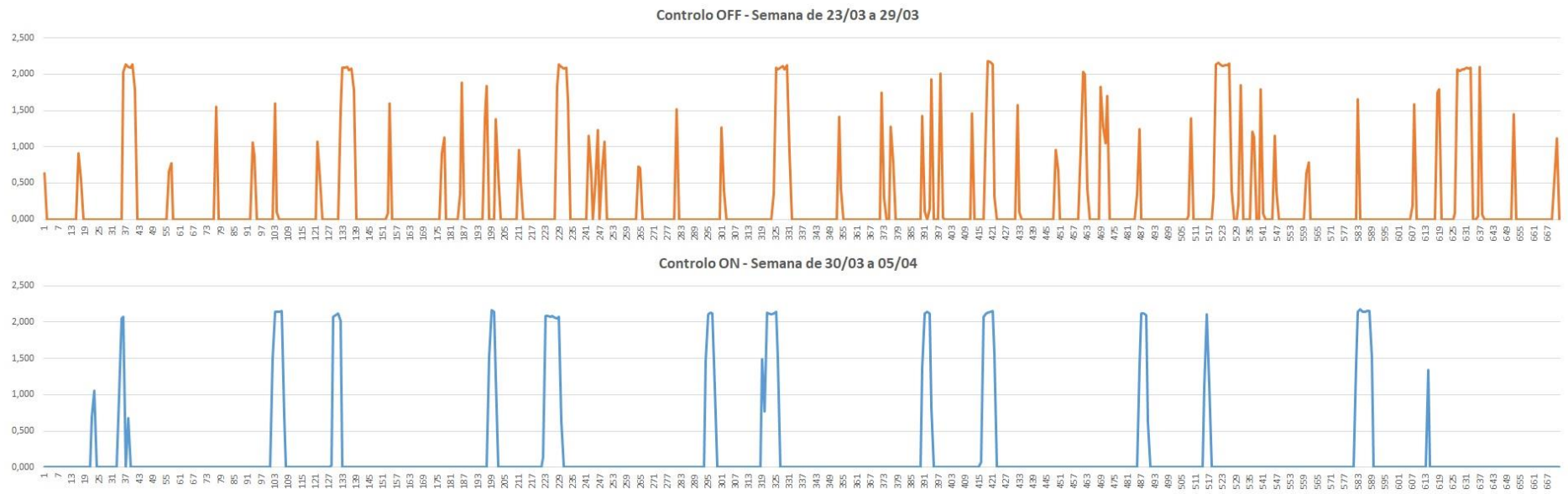


Figura A.2. 1- Controlo Termoacumulador.

Anexo B – Sistema para Autoconsumo

B.1. Com Armazenamento

UPAC 1250W + 4 kWh												
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Nº Horas Mês	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
Nº Horas Carga Cheia	0,75	6,25	12	17,5	40,25	24,75	81,5	65,75	33,5	12,75	0	0
Nº Horas Carga Vazia	653,25	532,25	496,25	493,25	363,25	360,75	224,25	244,25	324,5	461,25	614,25	679
Utilização Carga Cheia [%]	0,10%	0,93%	1,61%	2,43%	5,41%	3,44%	10,95%	8,84%	4,65%	1,71%	0,00%	0,00%
Utilização Carga Vazia [%]	87,80%	79,20%	66,70%	68,51%	48,82%	50,10%	30,14%	32,83%	45,07%	62,00%	85,31%	91,26%
Energia Proveniente da Rede [kWh]	732,99	531,36	369,30	430,54	210,20	195,50	100,80	101,97	139,55	298,34	741,08	702,97
Energia Consumida Proveniente da Rede [%]	90,13%	80,18%	65,26%	70,62%	49,92%	49,46%	31,78%	33,08%	42,72%	68,56%	86,65%	88,83%
Energia Produzida Injetada na Rede [kWh]	0,38	2,14	4,32	9,13	4,32	11,11	42,19	32,82	15,88	4,45	0,00	0,00
Energia Produzida Injetada na Rede [%]	0,45%	1,51%	2,05%	4,61%	1,73%	4,96%	15,58%	12,96%	7,41%	2,90%	0,00%	0,00%
Energia Produzida [kWh]	84,54	142,09	210,48	198,00	249,02	224,01	270,85	253,24	214,39	153,27	121,12	93,46
Energia Produzida Consumida [%]	94,97%	93,56%	93,42%	90,46%	78,96%	89,16%	79,91%	81,46%	87,26%	89,28%	94,30%	94,60%
Energia Consumida [kWh]	813,28	662,72	565,94	609,65	421,09	395,23	317,23	308,25	326,63	435,18	855,29	791,39
Poupança Energética [%]	9,87%	19,82%	34,74%	29,38%	50,08%	50,54%	68,22%	66,92%	57,28%	31,44%	13,35%	11,17%
Autossuficiência	3,00%	20,06%	34,74%	29,38%	46,70%	50,54%	68,22%	66,92%	57,28%	31,44%	13,35%	11,17%

Tabela B.1. 1- Resultados Cenário 2: UPAC 1250W + 4kWh.

UPAC 1250W + 8 kWh												
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Nº Horas Mês	744,00	672,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00
Nº Horas Carga Cheia	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	1,50	17,50	14,50	0,00	0,00	0,00	0,00
Nº Horas Carga Vazia	653,25	526,00	490,75	481,25	308,25	321,75	135,50	155,50	284,25	446,25	614,25	679,00
Utilização Carga Cheia [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,37%	0,21%	2,35%	1,95%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Utilização Carga Vazia [%]	87,80%	78,27%	65,96%	66,84%	41,43%	44,69%	18,21%	20,90%	39,48%	59,98%	85,31%	91,26%
Energia Proveniente da Rede [kWh]	732,99	132,31	365,50	420,89	189,47	183,43	67,19	76,26	124,94	124,94	741,08	702,97
Energia Consumida Proveniente da Rede [%]	90,13%	19,96%	64,58%	69,04%	45,00%	46,41%	21,18%	24,74%	38,25%	28,71%	86,65%	88,83%
Energia Produzida Injetada na Rede [kWh]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	7,18	5,45	0,00	0,00	0,00	0,00
Energia Produzida Injetada na Rede [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,24%	2,65%	2,15%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia Produzida [kWh]	84,54	142,09	210,48	198,00	249,02	224,01	270,85	253,24	214,39	153,27	121,12	93,46
Energia Produzida Consumida [%]	94,97%	95,07%	95,23%	95,33%	80,49%	94,55%	92,32%	91,61%	94,07%	92,21%	94,30%	94,60%
Energia Consumida [kWh]	813,28	662,72	565,94	609,65	421,09	395,23	317,23	308,25	326,63	435,18	855,29	791,39
Poupança Energética [%]	9,87%	80,04%	35,42%	30,96%	55,00%	53,59%	78,82%	75,26%	61,75%	71,29%	13,35%	11,17%
Autossuficiência	9,87%	20,38%	35,42%	30,96%	47,60%	53,59%	78,82%	75,26%	61,75%	32,48%	13,35%	11,17%

Tabela B.1. 2- Resultados Cenário 3: UPAC 1250W + 8kWh.

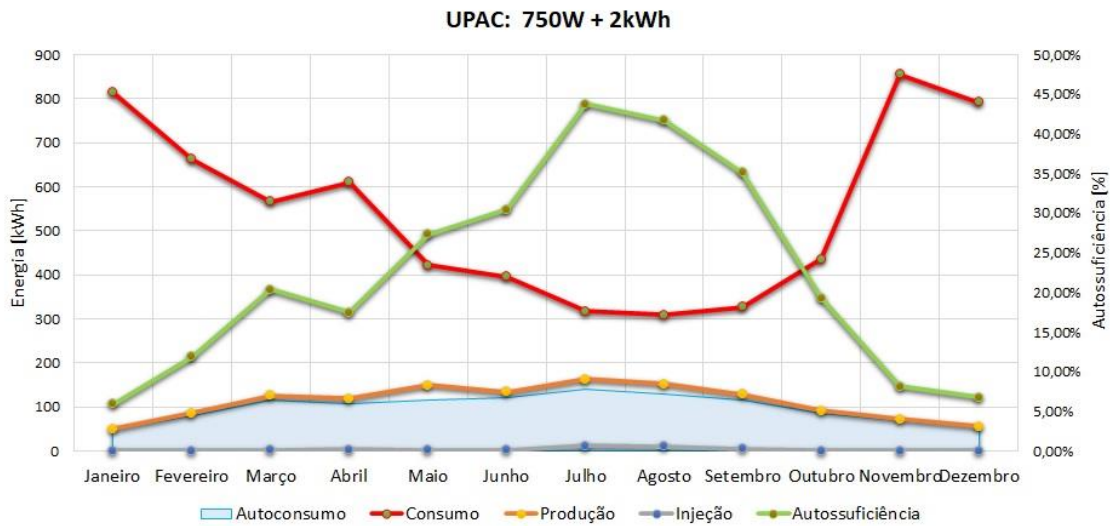


Figura B.1. 1 Dados relativos à UPAC 750W + 2kWh.

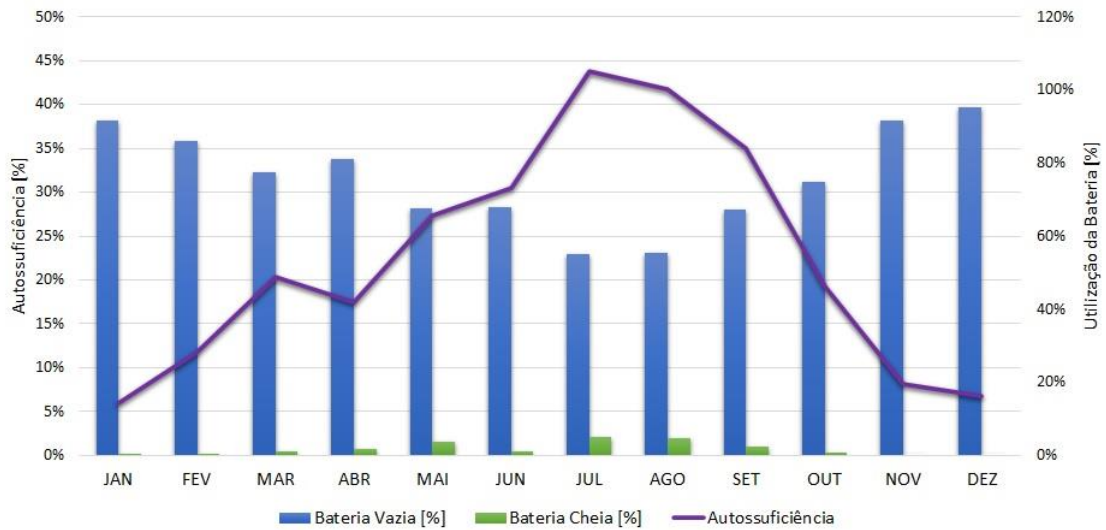


Figura B.1. 2 Utilização da bateria para UPAC 750W + 2kWh.

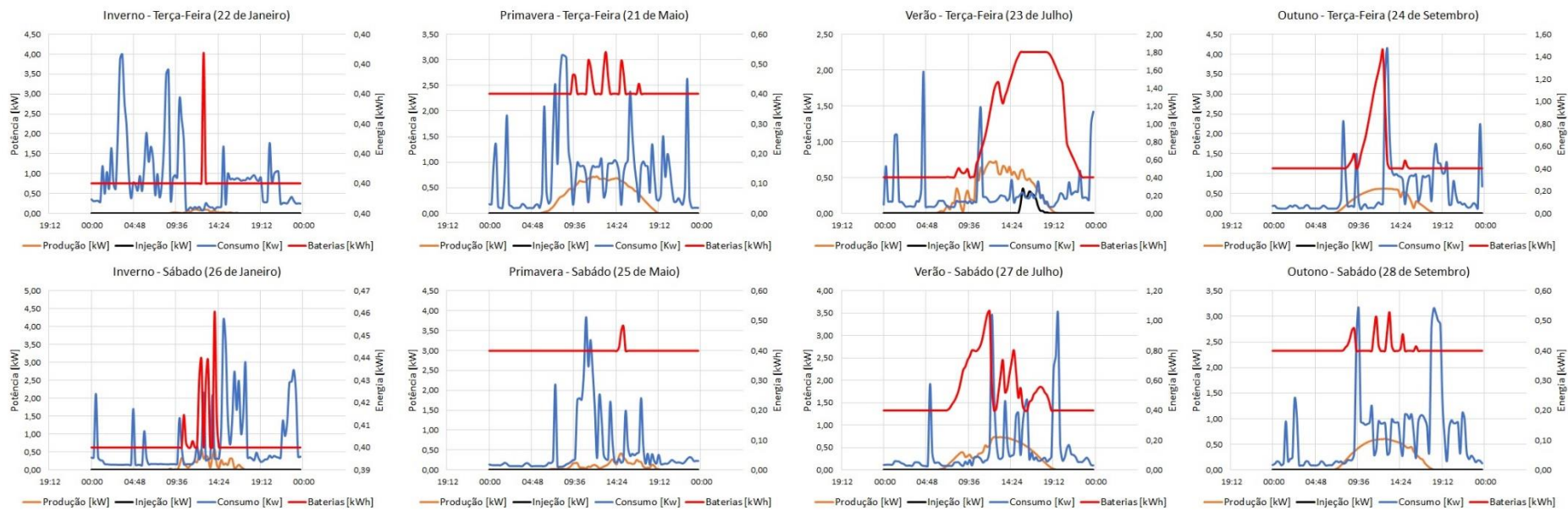


Figura B.1. 3 Dados Relativos à UPAC 750W + 2kWh, relativos à sazonalidade.

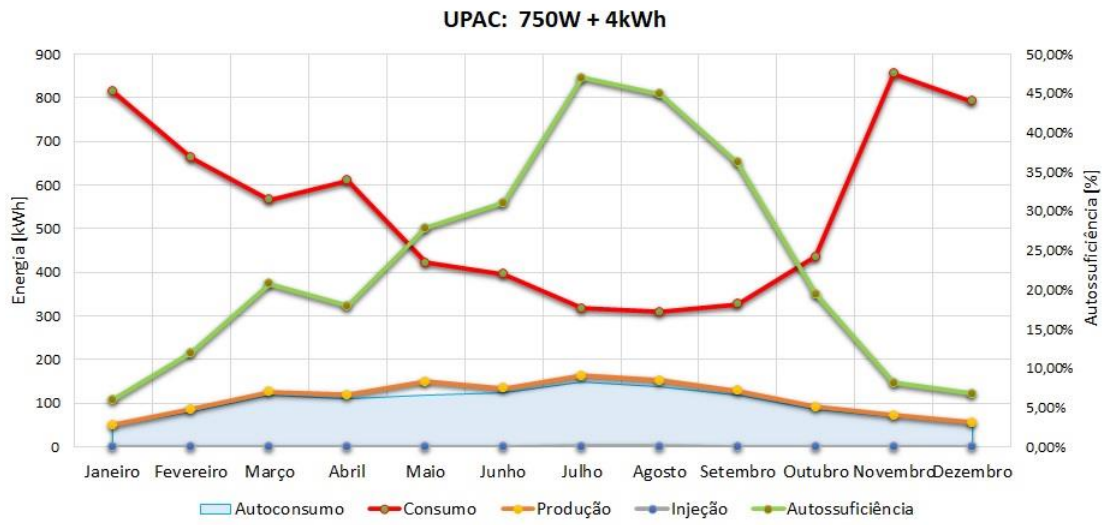


Figura B.1. 4 Dados relativos à UPAC 750W + 4kWh.

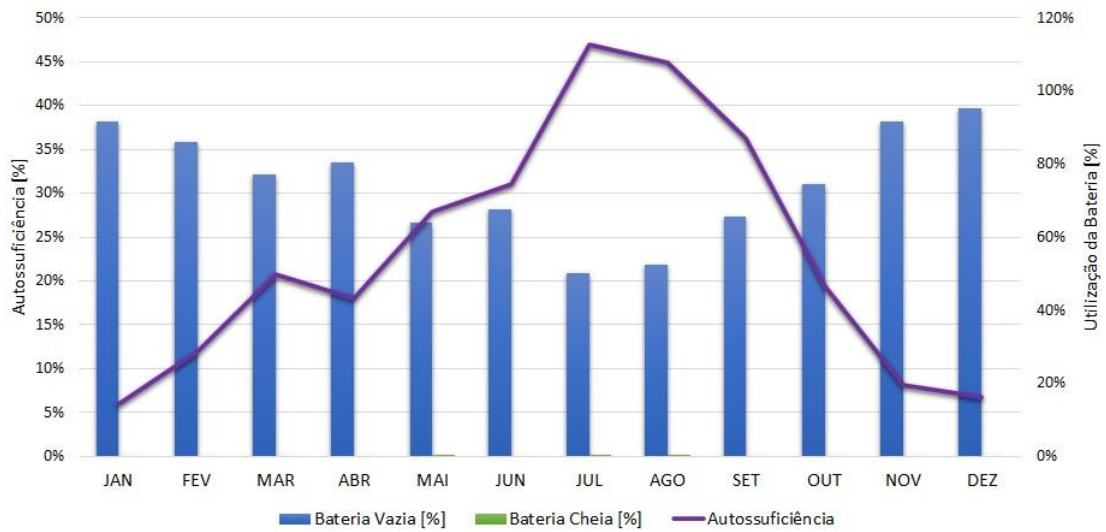


Figura B.1. 5 Utilização de bateria para UPAC 750W + 4kWh.

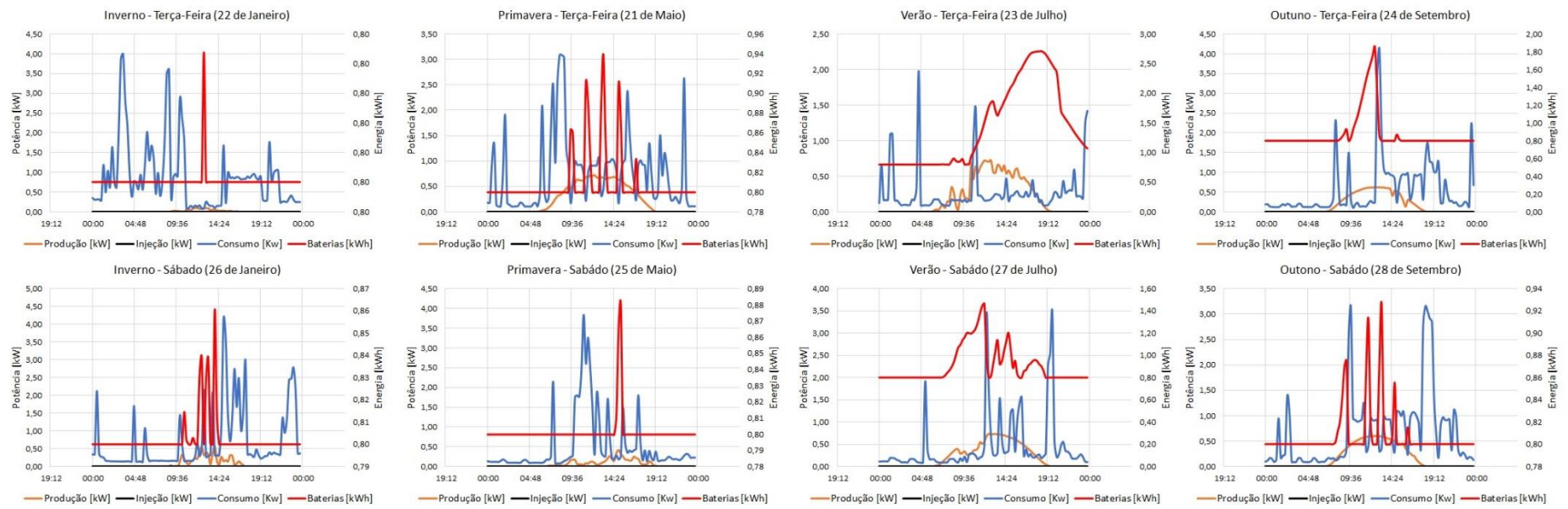


Figura B.1. 6 Dados Relativos à UPAC 750W + 4kWh, relativos à sazonalidade.

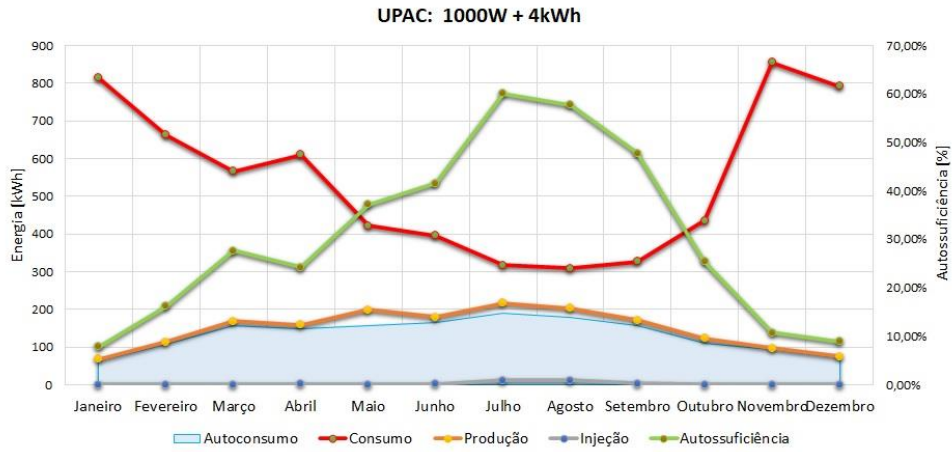


Figura B.1. 7 Dados relativos à UPAC 1000W + 4kWh.

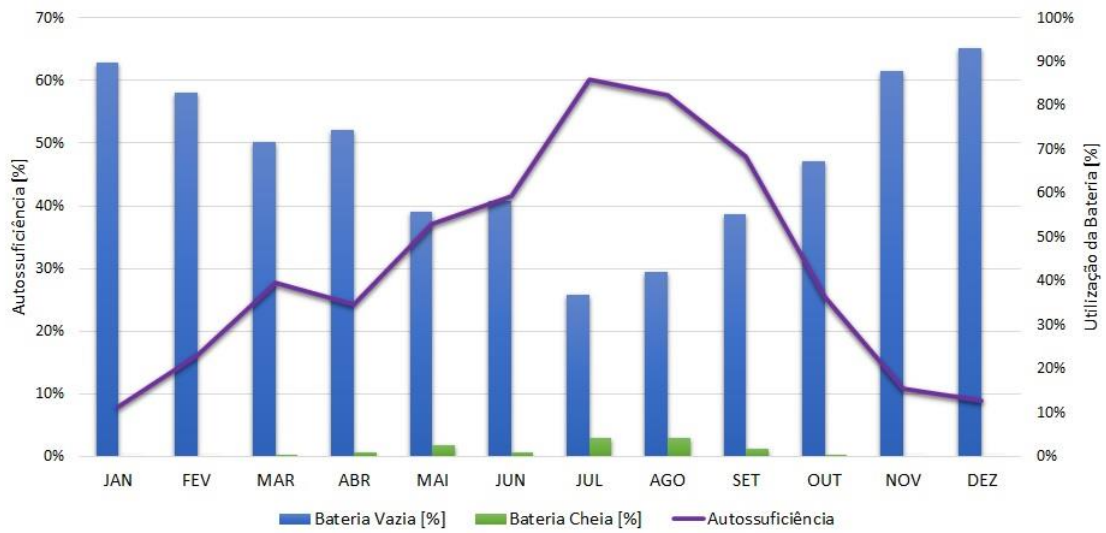


Figura B.1. 8 Utilização de Baterias para UPAC 1000w + 4kWh.

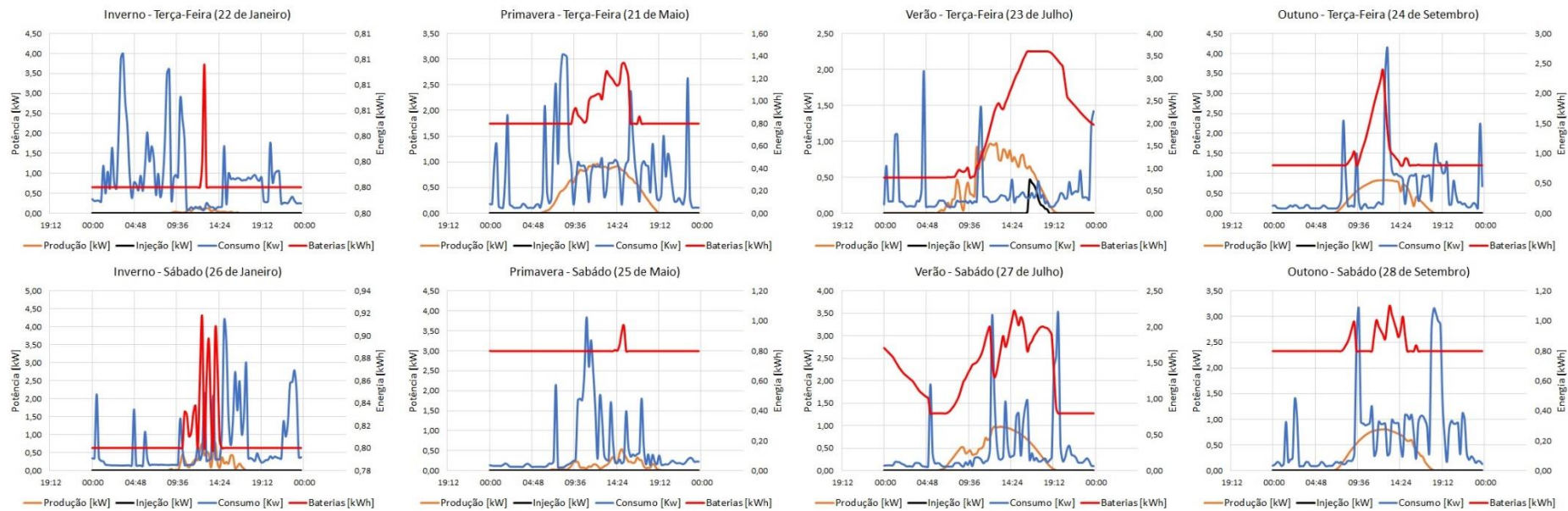


Figura B.1. 9 Dados Relativos à UPAC 1000W + 4kWh, relativos à sazonalidade.

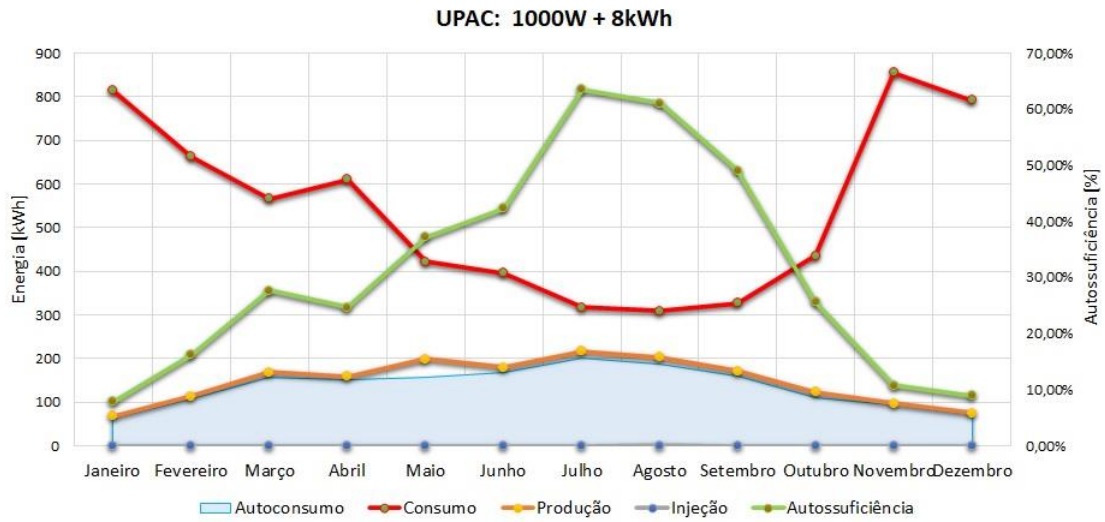


Figura B.1. 10 Dados relativos à UPAC 1000W + 8kWh.

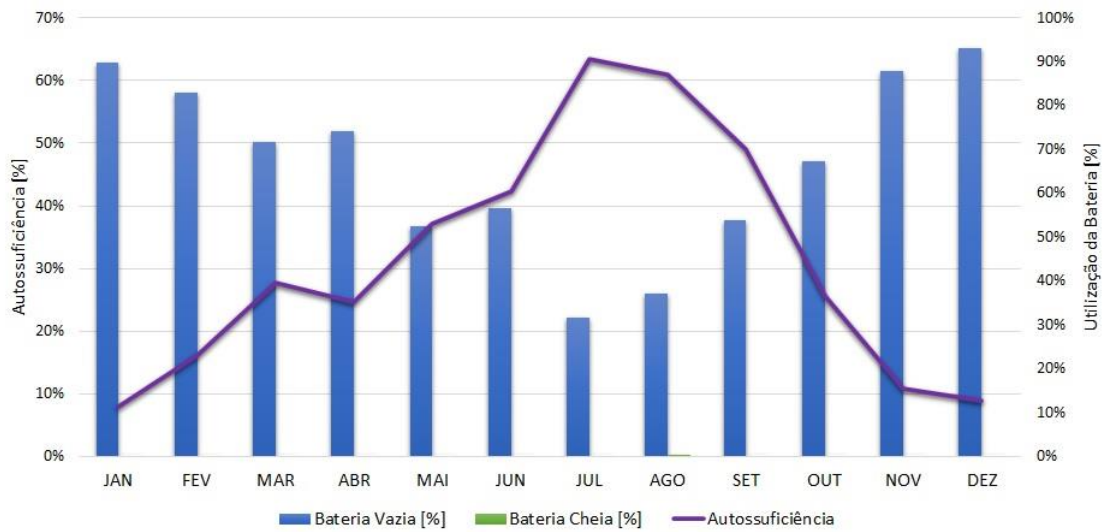


Figura B.1. 11 Utilização de bateria para UPAC 1000W + 8kWh.

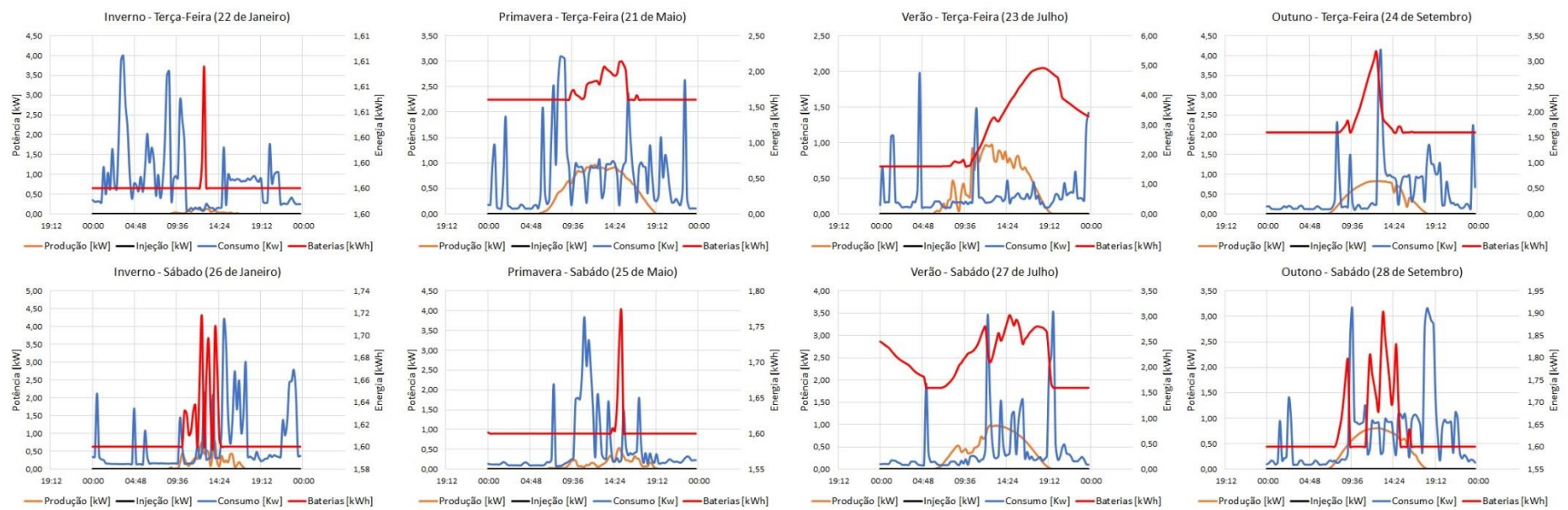


Figura B.1. 12 Dados Relativos à UPAC 1000W + 8kWh, relativos à sazonalidade.

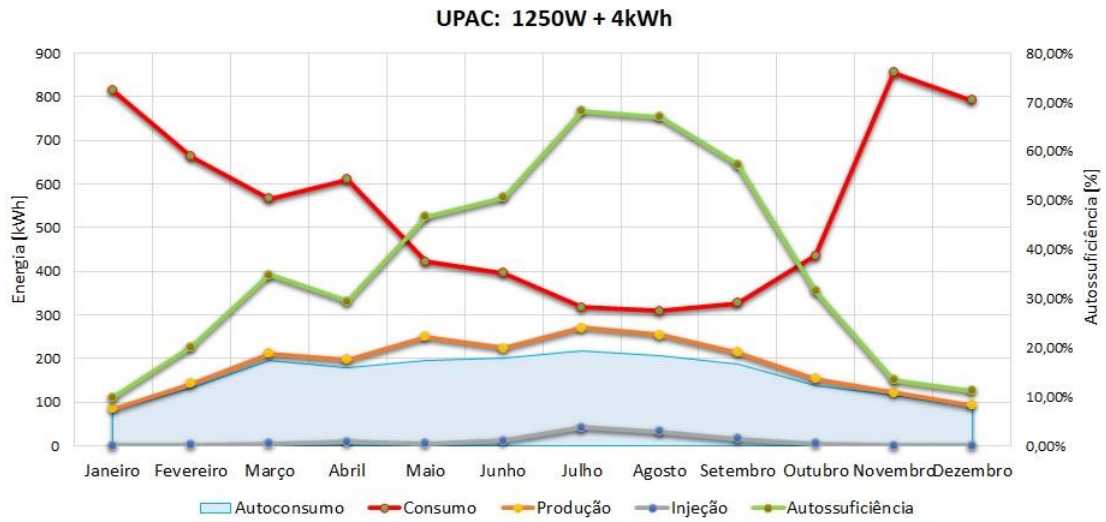


Figura B.1. 13 Dados relativos à UPAC 1250W + 4kWh.

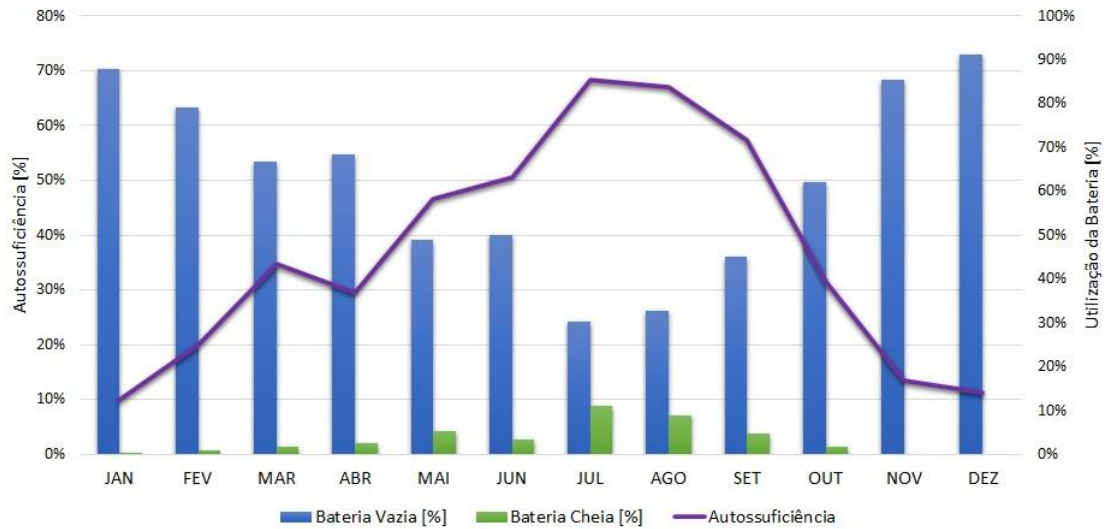


Figura B.1. 14 Utilização da bateria para UPAC 1250W + 4kWh.

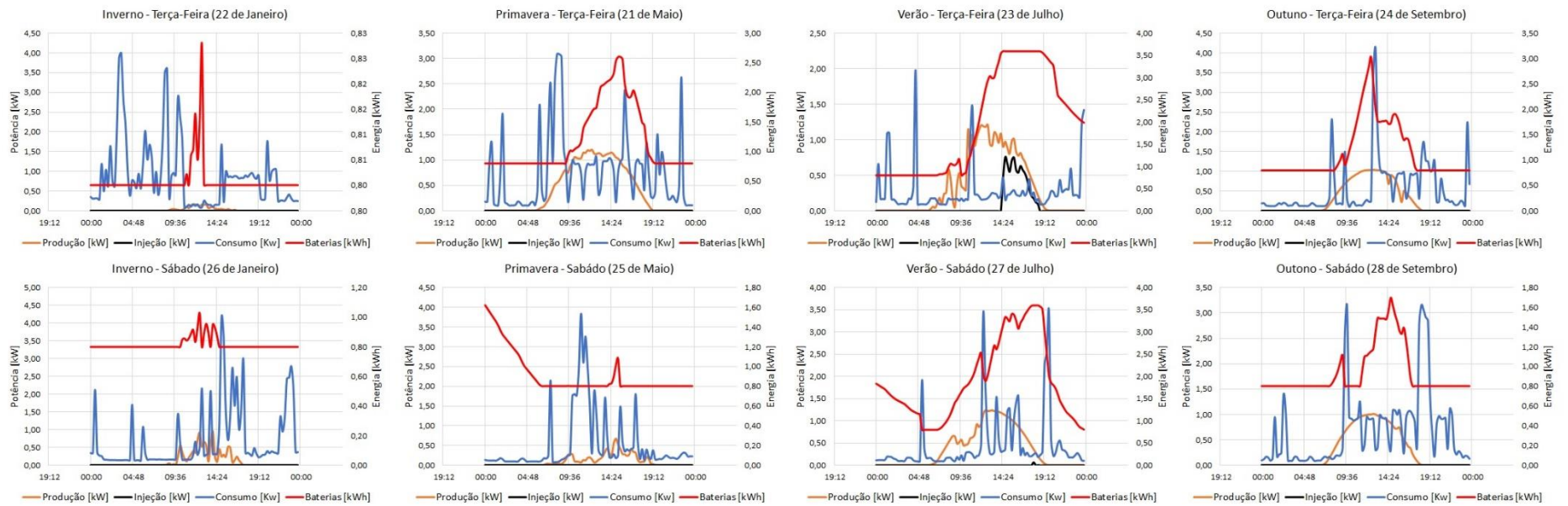


Figura B.1. 15Dados Relativos à UPAC 1250W + 4kWh, relativos à sazonalidade.

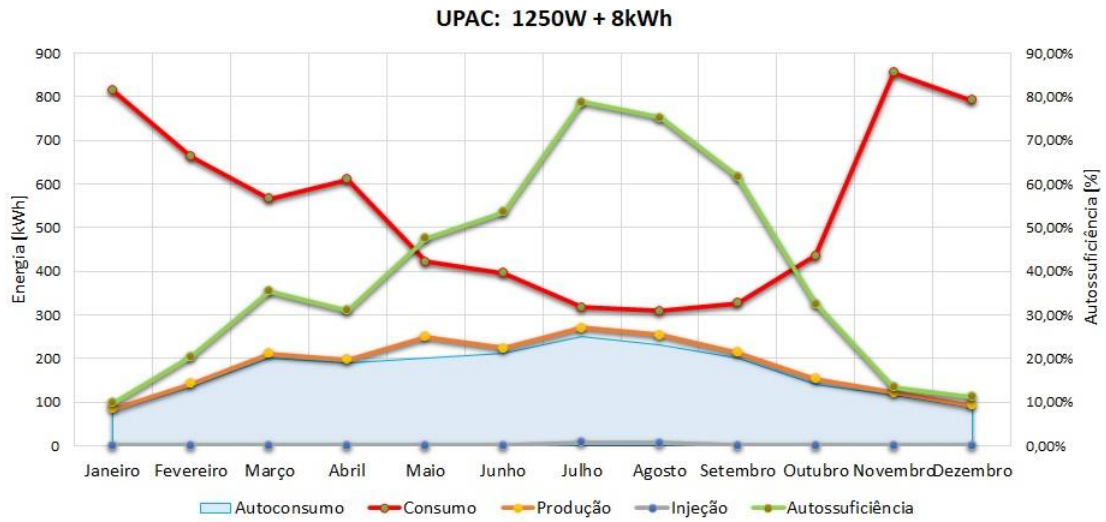


Figura B.1. 16 Dados relativos à UPAC 1250W + 8kWh.

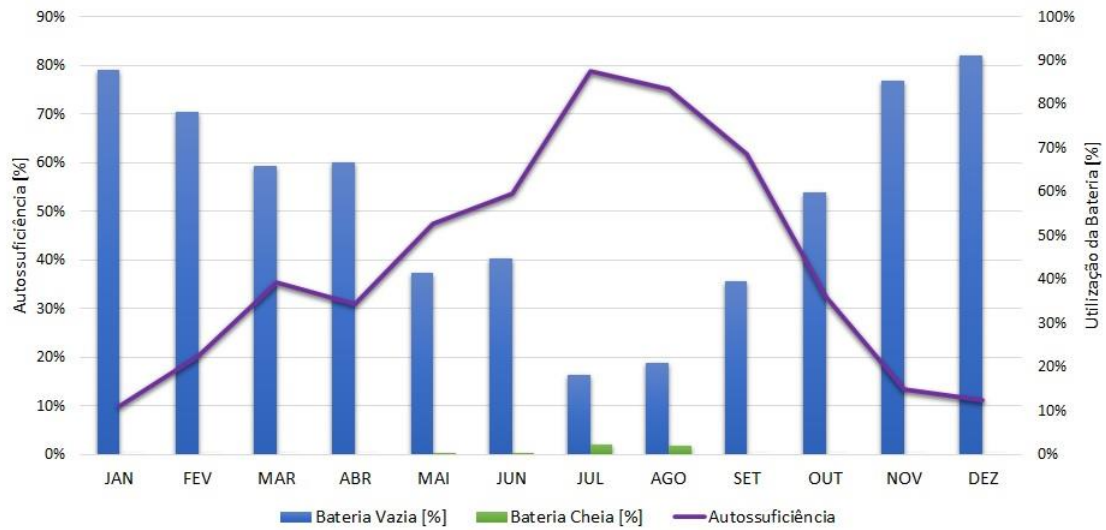


Figura B.1. 17 Utilização da bateria para UPAC 1250W + 8 kWh.

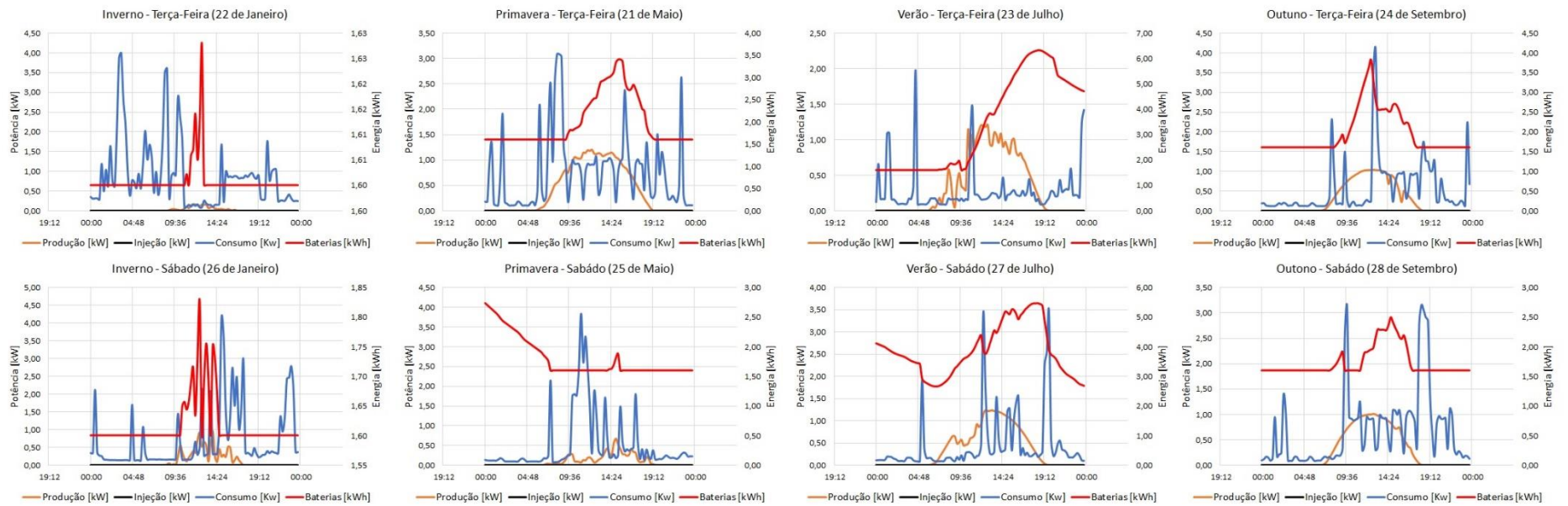


Figura B.1. 18 Dados Relativos à UPAC 1250W + 8kWh, relativos à sazonalidade.

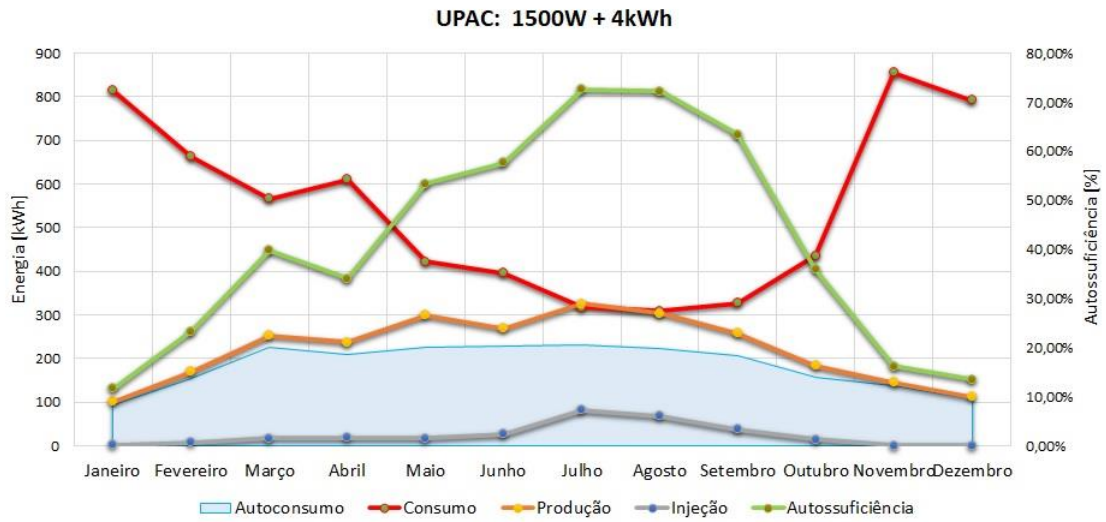


Figura B.1. 19 Dados relativos à UPAC 1500W + 4kWh.

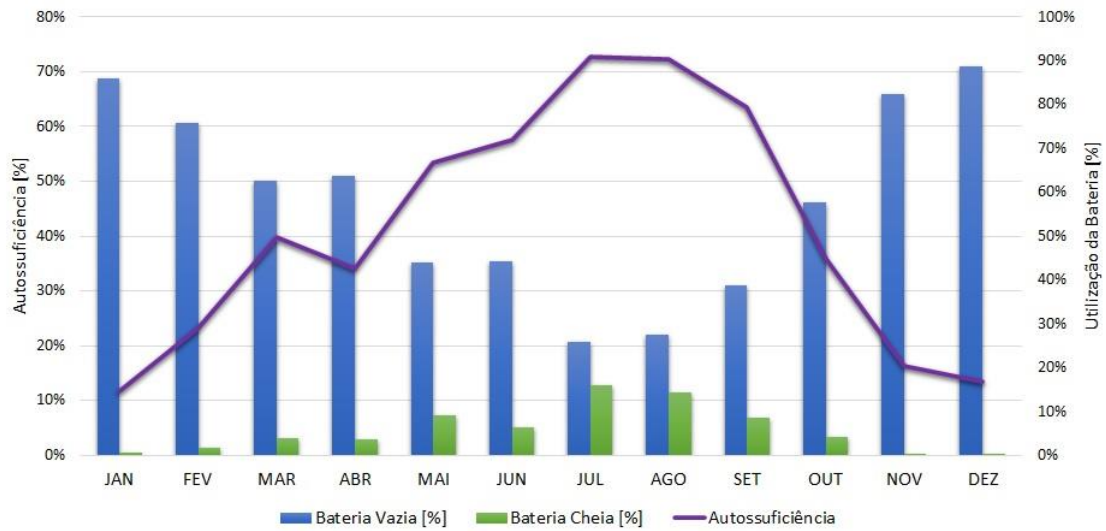


Figura B.1. 20 Utilização da bateria para UPAC 1500W + 4kWh.

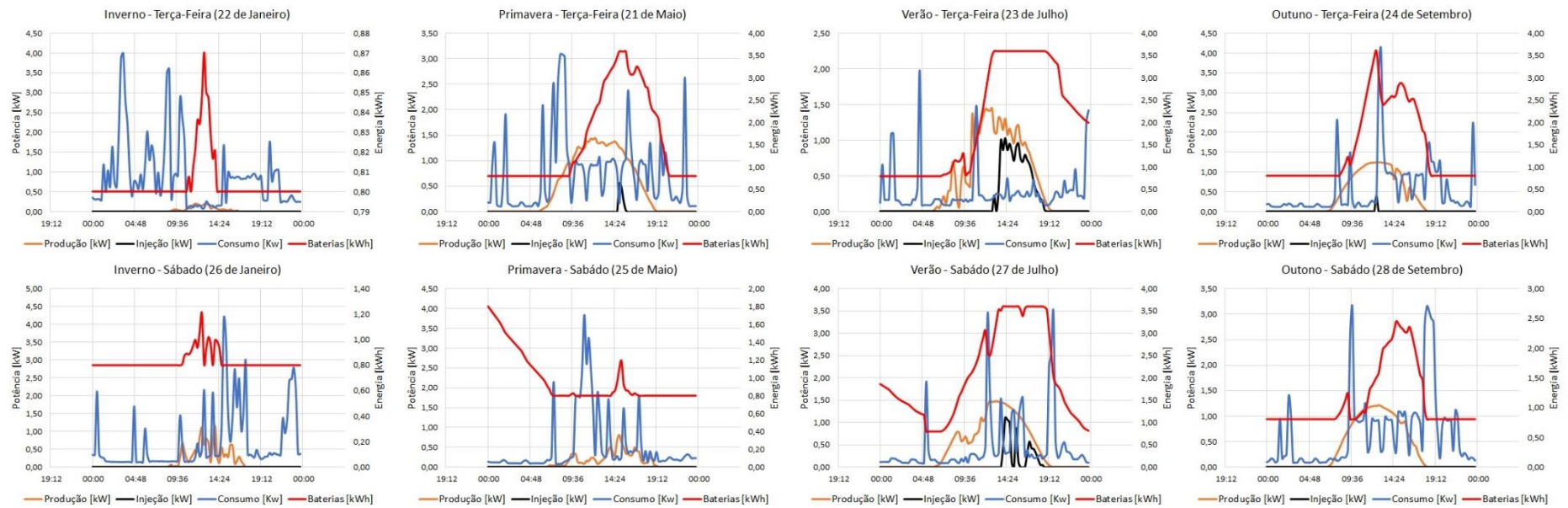


Figura B.1. 21 Dados Relativos à UPAC 1500W + 4kWh, relativos à sazonalidade.

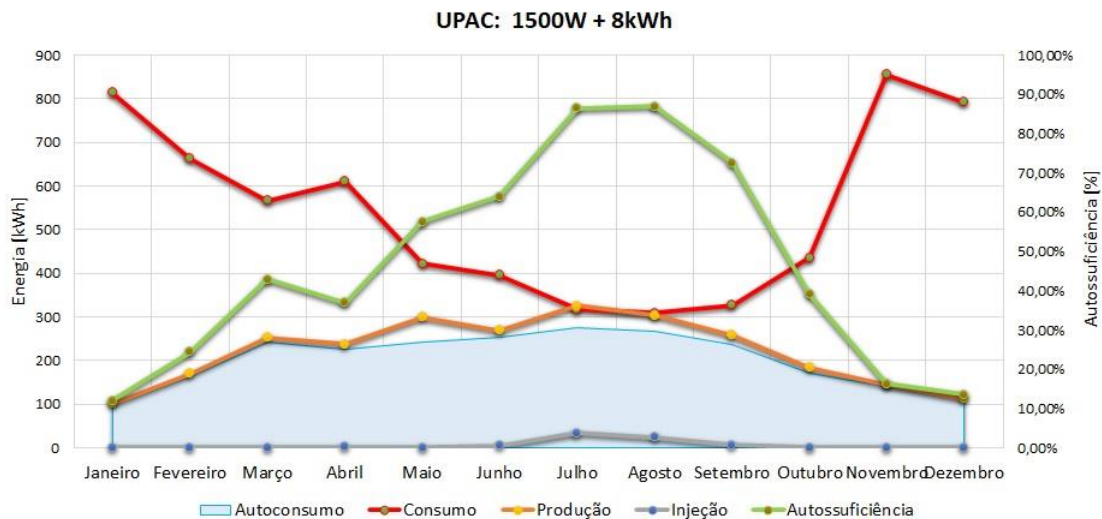


Figura B.1. 22 Dados relativos à UPAC 1500W + 8 kWh.

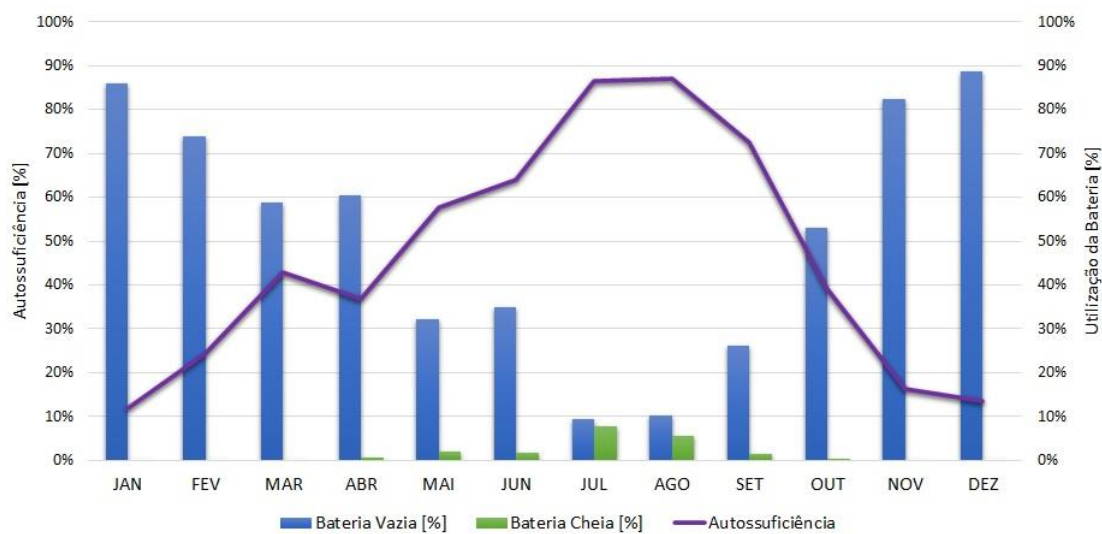


Figura B.1. 23 Utilização da bateria para UPAC 1500W + 8kWh.

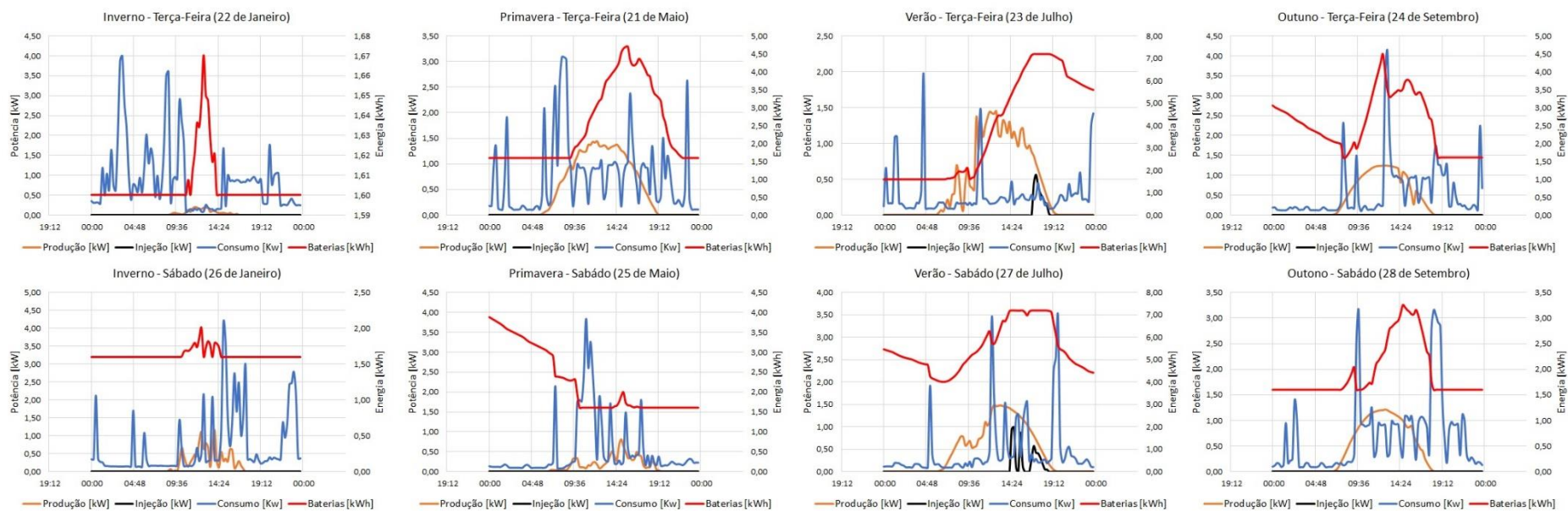


Figura B.1. 24 Dados Relativos à UPAC 1500W + 8kWh, relativos à sazonalidade.

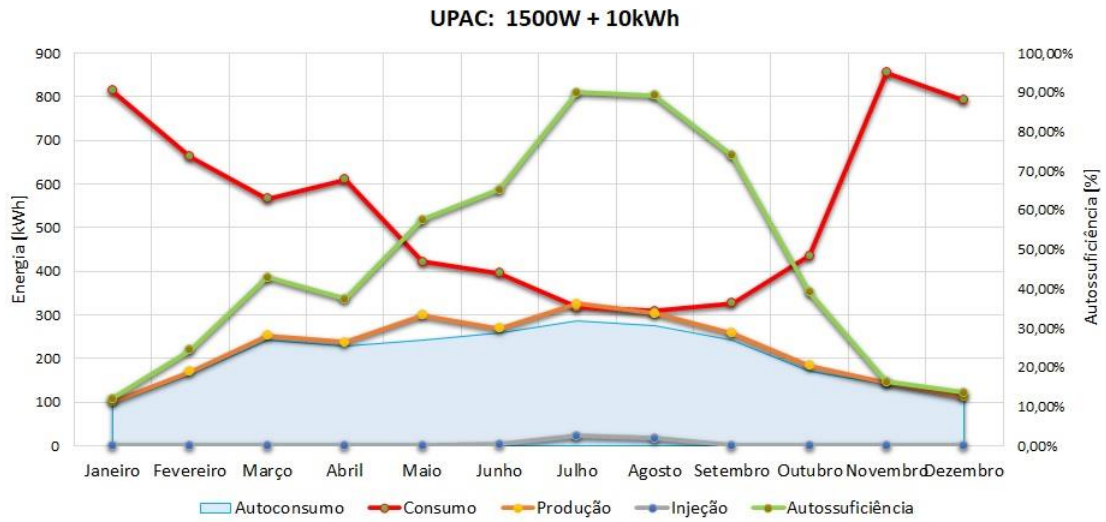


Figura B.1. 25 Dados relativos à UPAC 1500W + 10kWh.

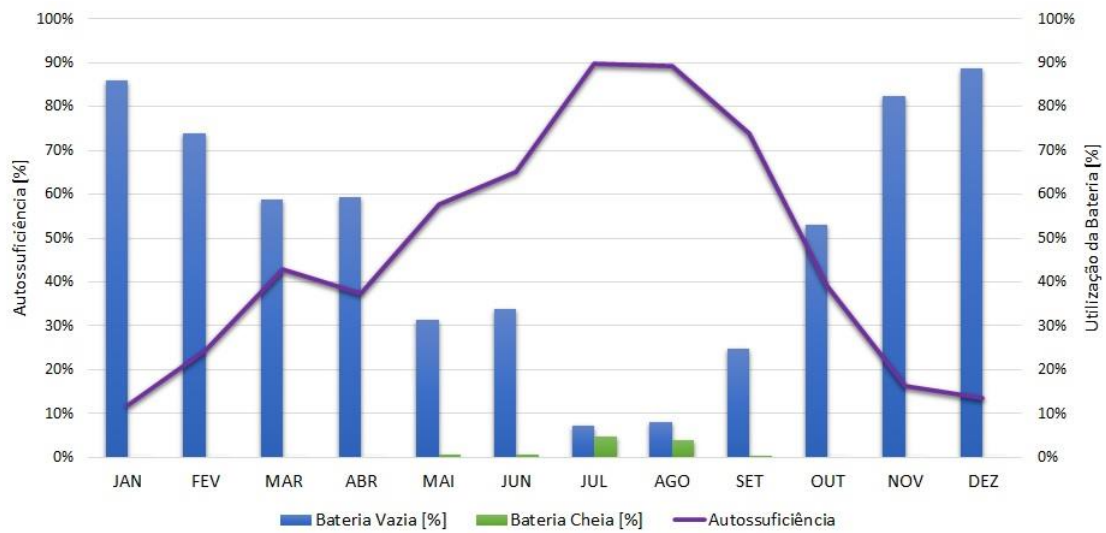


Figura B.1. 26 Utilização da bateria para UPAC 1500W + 10 kWh.

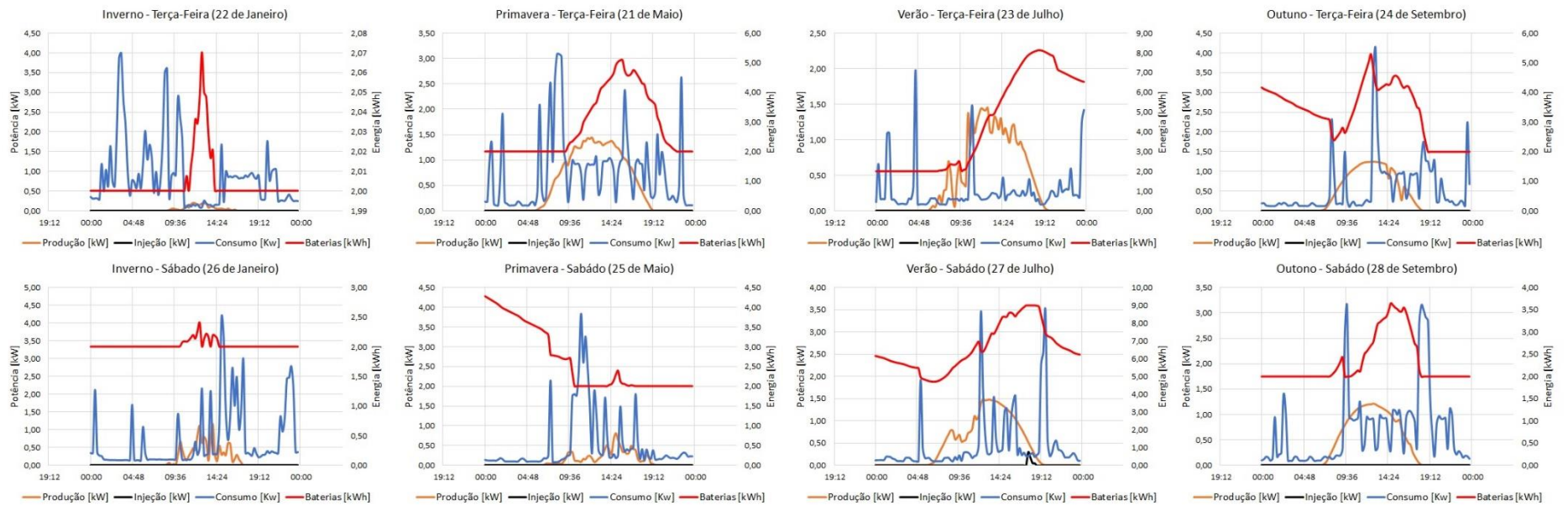


Figura B.1. 27 Dados Relativos à UPAC 1500W + 10kWh, relativos à sazonalidade.

B.2. Sem Armazenamento

Figura B.2. 1 Dados relativos à UPAC 750W.

UPAC: 750W

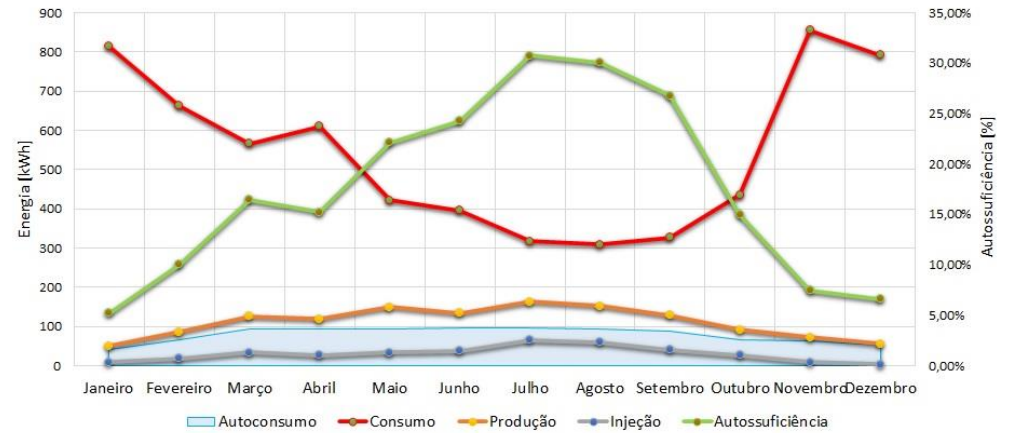


Figura B.2. 3 Dados relativos à UPAC 750W, em termos de sazonalidade.

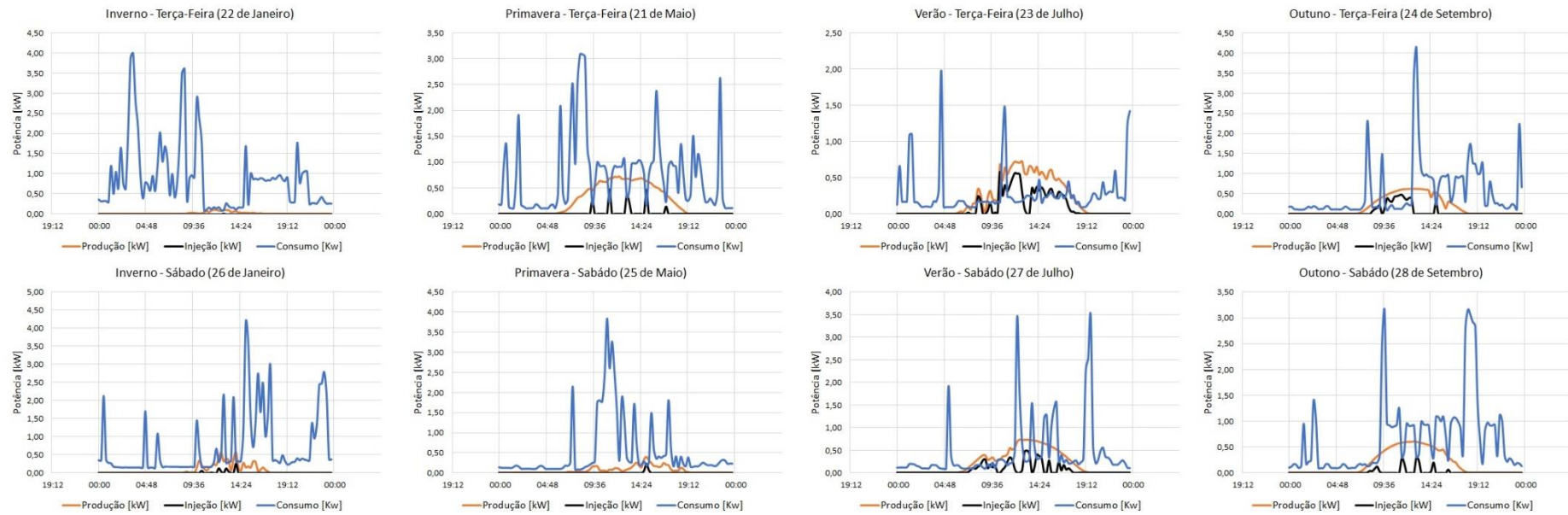


Figura B.2. 5 Dados relativos à UPAC 1000W. UPAC: 1000W

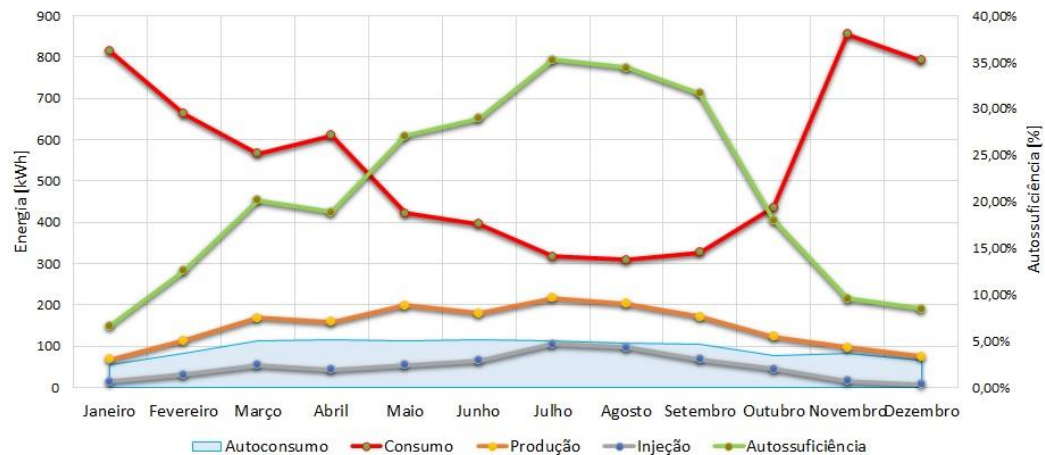


Figura B.2. 7 Dados relativos à UPAC 1000W, em termos de sazonalidade.

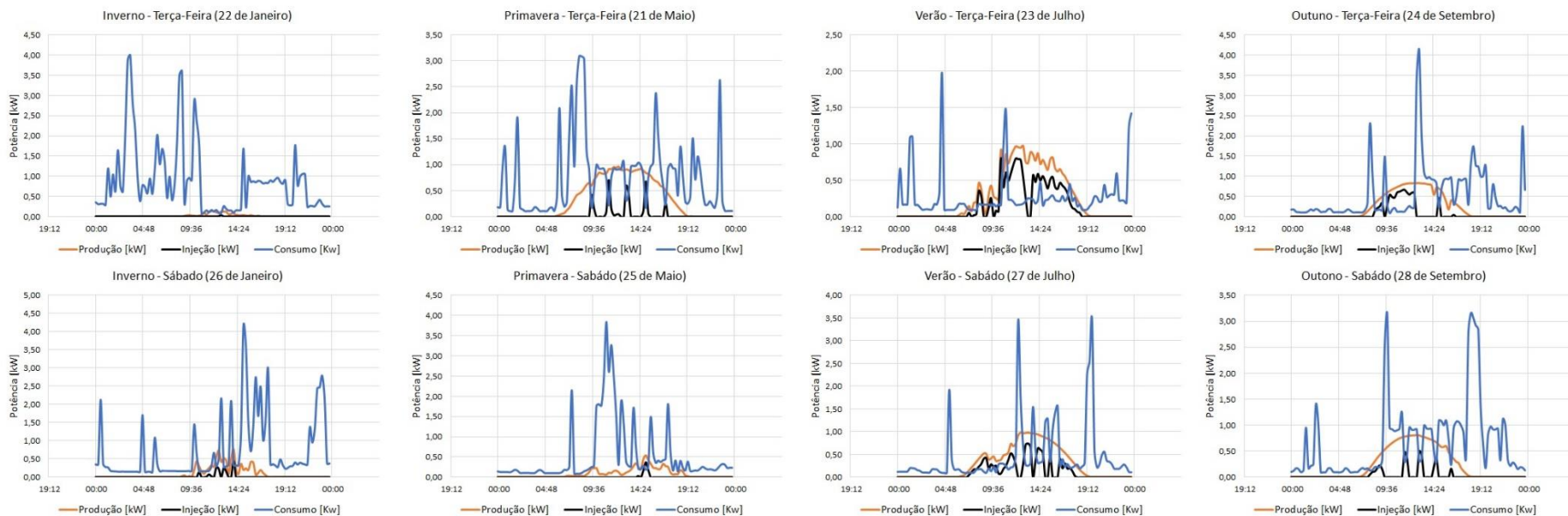


Figura B.2. 9 Dados relativos à UPAC 1250W.

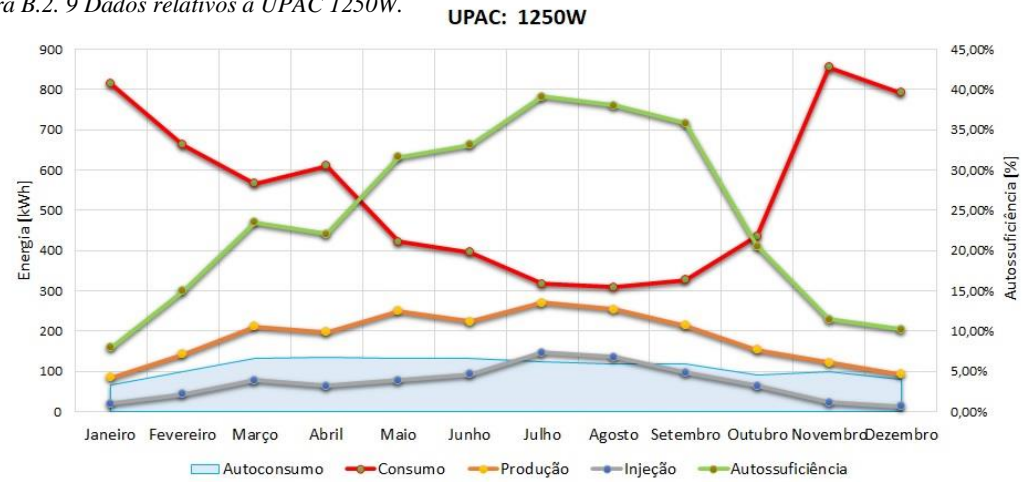


Figura B.2. 11 Dados relativos à UPAC 1250W, em termos de sazonalidade.

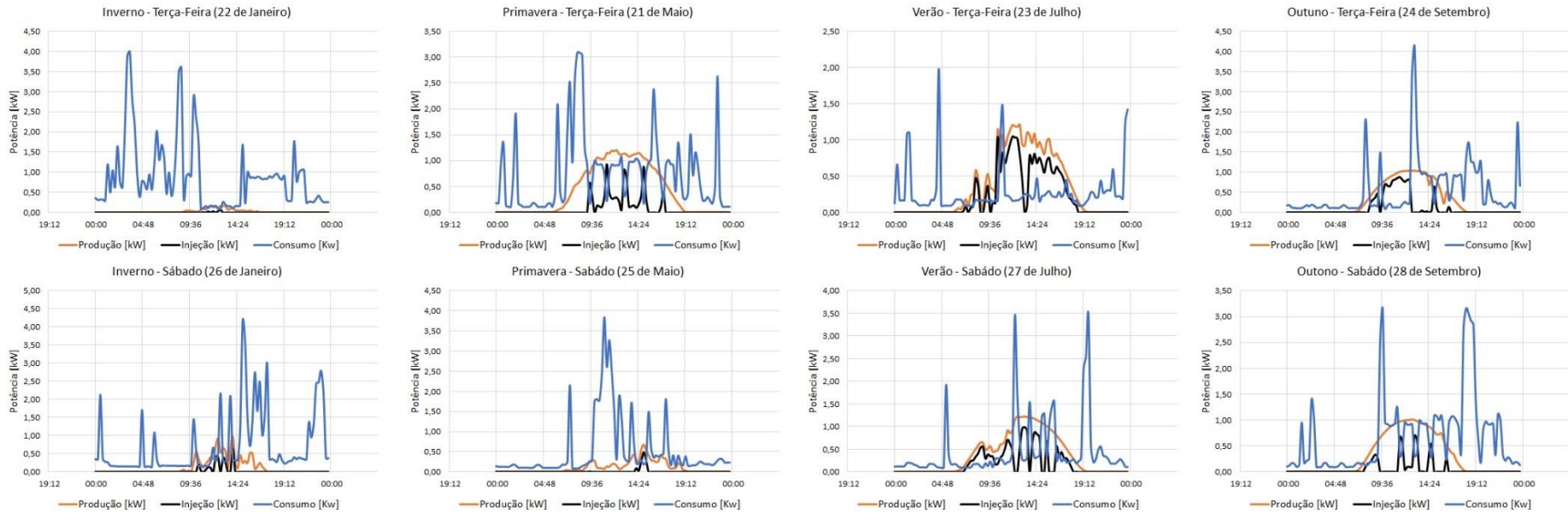


Figura B.2. 13 Dados relativos à UPAC 1500W. **UPAC: 1500W**

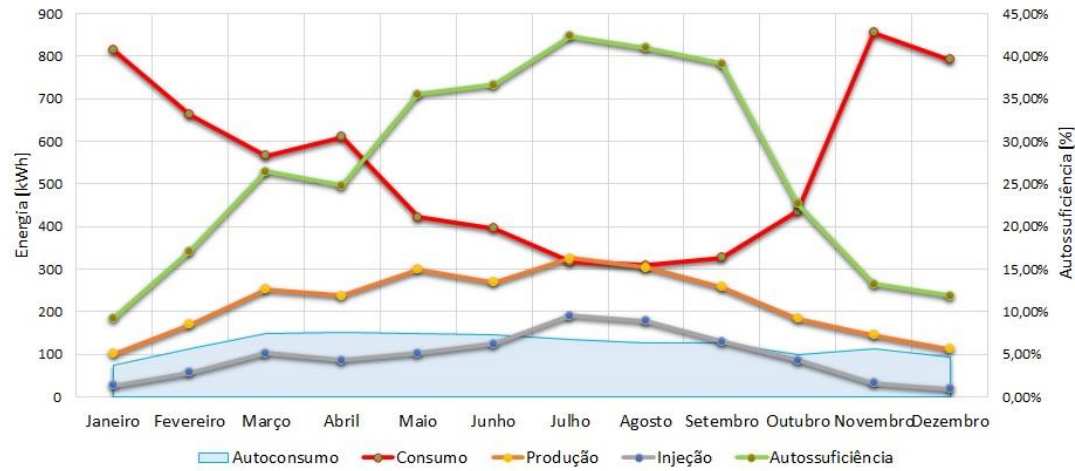


Figura B.2. 15 Dados relativos à UPAC 1500W, em termos de sazonalidade.

