



ANA ALEXANDRA CARREIRO VIVEIROS BOTELHO MONIZ

Licenciada em Ciências de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

PLATAFORMA DE GESTÃO DE ENERGIA DE UM EDÍFÍCIO

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

Universidade NOVA de Lisboa
Novembro, 2023



PLATAFORMA DE GESTÃO DE ENERGIA DE UM EDÍFICIO

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e
de Computadores

Ana Alexandra Carreiro Viveiros Botelho Moniz

Licenciada em ciências de engenharia eletrotécnica e de computadores

Orientador: Doutor Pedro Miguel Ribeiro Pereira
Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor João Paulo Branquinho Pimentão,
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

Arguente: Doutor Nuno Manuel Ortega Amaro,
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

Orientador: Doutor Pedro Miguel Ribeiro Pereira,
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

PLATAFORMA DE GESTÃO DE ENERGIA DE UM EDÍFICIO

Copyright © Ana Alexandra Carreiro Viveiros Botelho Moniz, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Obrigada a todos os que me ajudaram a completar esta etapa.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Pedro Pereira, muito obrigada pela oportunidade de realizar este trabalho sob a sua orientação, por todo o apoio prestado, pela compreensão quando as coisas corriam menos bem e, acima tudo, pela sempre disponibilidade mostrada para ajudar. Um grande obrigada também pela oportunidade de colaborar com a sua equipa no trabalho para o Fundo Ambiental, a qual ainda tenho o prazer de pertencer.

Aos Professores João Pedro Gouveia, Daniel Aelenei e Luís Baltazar, obrigada por me acolherem nos diferentes Avisos do Fundo Ambiental, com uma bolsa de investigação, com os quais aprendi bastante não só da minha área de engenharia eletrotécnica como de engenharia do ambiente, civil e mecânica.

A todos os Professores do meu curso, obrigada pelo conhecimento transmitido, que me permitiu chegar a esta etapa final do curso.

Muito obrigada aos meus pais por nunca me deixarem desistir e sempre me apoiaram para realizar este percurso académico.

Obrigada à minha irmã e à minha avó por serem as pessoas mais especiais da minha vida e que direta ou indiretamente tiveram um impacto positivo nesta jornada.

Obrigada, também, ao meu namorado que, nos bons e maus momentos, esteve sempre presente para me apoiar.

A todos os meus colegas de curso que me ajudaram, um grande obrigada, sem vocês dificilmente teria chegado aqui. Neste curso, percebemos que somos mais fortes juntos, e a entreatajuda é essencial.

A todos, estarei sempre grata, muito obrigada.

“Success is not final, failure is not fatal: it is the courage to continue that counts.”

(Winston Churchill).

RESUMO

Atualmente, cada vez mais equipamentos elétricos são utilizados nas habitações, o que implica um maior gasto de energia, derivado de um maior consumo energético. Para colmatar o consumo energético de forma sustentável, existem tecnologias como os painéis solares e sistemas de armazenamento de energia. O desafio está em tirar o máximo de proveito destas tecnologias para reduzir a energia gasta numa habitação e, conseqüentemente, a sua pegada ecológica.

A solução proposta neste trabalho é uma aplicação de gestão de consumos, que permite ao utilizador inserir a informação personalizada da sua habitação, como a localização, a potência instalada de painéis fotovoltaicos, o sistema de armazenamento de energia e os equipamentos presentes na habitação.

Foi implementado um algoritmo de alocação de cargas, cujas variáveis são a produção fotovoltaica, a energia na bateria e o consumo diário, e atua sobre os equipamentos com maior consumo, isto é, a máquina de lavar a roupa, secar a roupa, lavar a loiça e o carregador de veículo elétrico. A aplicação aconselhará o utilizador sobre qual a melhor hora para usar cada um destes equipamentos, fazendo com que a habitação gaste o menos de energia possível num dia.

Com os resultados obtidos, concluiu-se que ter um sistema de armazenamento de energia será benéfico para diminuir a quantidade de energia consumida numa habitação, especialmente se o utilizador pretender usar equipamentos em horas onde a produção fotovoltaica é nula. Contudo, o ideal para poupar o máximo de energia numa residência, é alocar os equipamentos para quando a produção fotovoltaica satisfaz o seu consumo, com o auxílio de um algoritmo de alocação de cargas.

Palavras chave: Consumo energético, Produção fotovoltaica, Sistema de armazenamento de energia, Alocação de cargas, Suporte à decisão

ABSTRACT

Currently, more and more electrical equipment is used in homes, which implies greater energy expenditure, resulting from greater energy consumption. To meet energy consumption in a sustainable way, there are technologies such as solar panels and energy storage systems. The challenge is to make the most of these technologies to reduce the energy used in a home and, consequently, its ecological footprint.

The solution proposed in this work is a consumption management application, which allows the user to enter personalized information about their home, such as location, the installed power of photovoltaic panels, the energy storage system and the equipment present in the home.

A load allocation algorithm was implemented, whose variables are photovoltaic production, battery energy and daily consumption, and acts on the equipment with the highest consumption, that is, the washing machine, drying machine, washing the dishes and the electric vehicle charger. The application will advise the user on the best time to use each of these devices, ensuring that the home uses as little energy as possible in a day.

After several simulations, it was concluded that having an energy storage system will be beneficial to reduce the amount of energy consumed in a home, especially if the user intends to use equipment in hours where photovoltaic production is zero. However, the ideal way to save the most energy in a home is to allocate equipment to when photovoltaic production satisfies the consumption, with the help of a load allocation algorithm.

Keywords: Energy consumption, Photovoltaic production, Energy storage system, Load Allocation, Advice

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Enquadramento	3
2	ESTADO DE ARTE	7
2.1	Introdução e conceitos	7
2.2	<i>“Sensible Project”</i> da EDP	8
2.2.1	Descrição do projeto	8
2.2.2	Sistema de monitorização integrado no projeto	10
2.3	<i>“How can we tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings?”</i>	12
2.3.1	Descrição do projeto	12
2.3.2	Sistema de monitorização integrado no projeto	15
2.4	<i>“The Electric Nation Project”</i>	18
2.4.1	Descrição geral do projeto	18
2.4.2	Conclusões retiradas do projeto	21
2.5	<i>“Evaluating the benefits of a solar home energy management system: impacts on photovoltaic power production value and grid interaction”</i>	22
2.5.1	Descrição geral do projeto	22
2.5.2	Metodologia utilizada no projeto	23
2.6	Aplicações de Gestão de Energia no mercado	25
3	METODOLOGIA E IMPLEMENTAÇÃO	27
3.1	Aquisição de Dados	28
3.1.1	Produção Fotovoltaica	28

3.1.2	Diagramas de consumo de habitação	30
3.1.3	Diagramas de carga dos equipamentos	31
3.2	Algoritmo de alocação de cargas	32
3.3	Algoritmo de gestão de armazenamento da bateria	33
3.4	Interface Gráfica	34
3.4.1	Introdução de dados.....	35
3.4.2	Produção fotovoltaica e evolução da bateria	36
3.4.3	Diagramas do consumo da habitação	37
3.4.4	Diagramas de funcionamento dos equipamentos.....	38
3.4.5	Suporte à decisão	39
4	RESULTADOS	41
4.1	Simulações sem sistema de armazenamento de energia	41
4.1.1	Cenário 1	41
4.1.2	Cenário 2: Mês de Verão	44
4.2	Simulações com sistema de armazenamento de energia.....	46
4.2.1	Cenário 3: Mês de Inverno.....	46
4.2.2	Cenário 4: Mês de verão.....	48
4.3	Comparação dos resultados.....	50
5	CONCLUSÕES	53
5.1	Considerações finais	53
5.2	Trabalhos futuros.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Exemplo de um edifício com geração distribuída. (Fonte: [1]).....	1
Figura 1.2 - Gráfico explicativo da gestão de carga num edifício. (Fonte [4])	3
Figura 1.3 - Gráfico explicativo da gestão de carga num edifício (Fonte [4])	4
Figura 1.4 - Gráfico explicativo da gestão de carga num edifício (Fonte [4])	4
Figura 1.5 - Exemplo de agendamento de cargas, através de ferramentas de simulação, utilizando uma bateria. (Fonte: [6]).....	5
Figura 2.1: Demonstração ilustrativa do projeto <i>Sensible</i> (Fonte: [9])	8
Figura 2.2 - Menu inicial da interface do software do projeto <i>Sensible</i> . (Fonte: [10]).....	9
Figura 2.3: Menu inicial da interface do software do projeto <i>Sensible</i> . (Fonte: [10]).....	9
Figura 2.4 - Menu de gestão avançada da interface do software do projeto <i>Sensible</i> . (Fonte: [10])	10
Figura 2.5 - Ilustração esquemática da arquitetura da rede do projeto <i>Sensible</i> . (fonte: [11])..	11
Figura 2.6 - Arquitetura do sistema de uma residência participante no projeto <i>Sensible</i> . (Fonte: [11])	11
Figura 2.7 - Arquitetura do sistema de recolha de dados do projeto <i>Sensible</i> . (Fonte: [11])...	12
Figura 2.8 - Esquema representativo da gestão de energia do edifício (Fonte: [12])	13
Figura 2.9 - Interface do editor city explorer. (Fonte: [12])	13
Figura 2.10: Interface do controlo da temperatura no edifício (Fonte: [12]).....	14
Figura 2.11 - Interface do controlo da luminosidade no edifício. (Fonte: [12]).....	15
Figura 2.12 - Camadas da arquitetura do sistema de gestão de energia (Fonte: [12])	16
Figura 2.13 - Tipos de comunicação e componentes utilizados no sistema (Fonte: [12]).....	17
Figura 2.14: Esquema do sistema aquisição e controlo de dados do projeto (Fonte: [12]).....	17
Figura 2.15 - Distribuição das horas de início de carregamento em dias úteis e em fins de semana. (Fonte: [13]).....	19
Figura 2.16 - Flexibilidade de carregamento nas diferentes horas do dia, num dia útil. (Fonte: [13])	20
Figura 2.17 - Nível de satisfação dos utilizadores em cada ensaio do projeto (10="Completamente Satisfeito"). Fonte: [13]	20
Figura 2.18 - A probabilidade dos utilizadores adotarem cada ensaio do projeto (10="Altamente Provável"). (Fonte: [13]).....	21

Figura 2.19 - Procura de eletricidade residencial em MWh/ano em cada residência no estudo. O gráfico mais pequeno mostra esta procura se divide pelos equipamentos flexíveis. (Fonte: [16])	22
Figura 2.20: Exemplo do funcionamento do algoritmo de gestão de carga num certo dia. (Fonte: [16])	24
Figura 2.21: Exemplo do algoritmo da bateria aplicado no mesmo dia que o da Figura 2.20. O perfil de carga é o perfil com gestão de carga na Figura 2.20 . (Fonte: [16])	24
Figura 3.1 - Esquema representativo do modelo desenvolvido.....	27
Figura 3.2 - Valores da irradiância solar ao longo de um dia de Agosto em Ponta Delgada. .	29
Figura 3.3 - Potência fotovoltaica produzida num dia de Maio, em Ponta Delgada, em Watt.	30
Figura 3.4 - Exemplo de simulação de um diagrama de cargas diário de habitação na ferramenta [27].	31
Figura 3.5 - Diagrama de cargas de uma sessão de carregamento de VE, com um carregador de 7.2kW [30].	32
Figura 3.6 – Fluxograma do algoritmo de alocação de cargas, adaptado de [31].	32
Figura 3.7 - Página inicial da aplicação desenvolvida.....	35
Figura 3.8 – Separador Utilizador da aplicação desenvolvida.....	35
Figura 3.9 - Separador Equipamentos da aplicação desenvolvida.....	36
Figura 3.10 - Separador Fotovoltaico da aplicação desenvolvida.....	37
Figura 3.11 - Separador Resultados da aplicação desenvolvida.....	37
Figura 3.12 - Separador Diagrama Equip. da aplicação desenvolvida.	38
Figura 3.13 - Separador Aconselhamento da aplicação desenvolvida.....	39
Figura 4.1 - Parâmetros de simulação para o mês de Fevereiro, sem bateria.	42
Figura 4.2 - Produção fotovoltaica e diagramas dos equipamentos da simulação no mês de Fevereiro, sem bateria.	42
Figura 4.3 - Resultados da simulação do cenário 1, no mês de Fevereiro, sem bateria.....	43
Figura 4.4 – Suporte à decisão das horas dos equipamentos no cenário no mês de Fevereiro, sem bateria.	43
Figura 4.5 - Parâmetros da simulação do mês de Julho, sem bateria.	44
Figura 4.6 - Produção fotovoltaica e diagramas dos equipamentos da simulação no mês de Julho, sem bateria.....	44
Figura 4.7 - Resultados da simulação do Cenário 2.....	45
Figura 4.8 – Suporte à decisão das horas dos equipamentos no cenário 2.....	45
Figura 4.9 - Parâmetros da simulação do mês de Fevereiro, com bateria.	46
Figura 4.10 – Produção fotovoltaica e evolução da energia da bateria na simulação no mês de Fevereiro, com bateria.	46
Figura 4.11 - Resultados da simulação do cenário 3.....	47
Figura 4.12 – Suporte à decisão das horas dos equipamentos no cenário 3.....	47
Figura 4.13 - Parâmetros da simulação do mês de Julho, com bateria.....	48

Figura 4.14 - Produção fotovoltaica e evolução da energia da bateria na simulação no mês de Julho, com bateria.	48
Figura 4.15 – Resultados da simulação do cenário 4.	49
Figura 4.16 – Suporte à decisão das horas dos equipamentos no cenário 4.	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Sumário do estado dos ensaios do projeto (Fonte: [13]).....	19
Tabela 3.1 - Especificações técnicas do painel JA Solar 550W JAM72S30 MR [28].....	28
Tabela 4.1 - Parâmetros utilizados em todas as simulações.	41
Tabela 4.2 – Comparação de resultados nos cenários de Inverno.	50
Tabela 4.3 - Comparação de resultados nos cenários de Verão.	51

SIGLAS

BESS	Sistema de armazenamento de energia através de bateria (do inglês <i>Battery Energy Storage System</i>)
DERs	Geração Distribuída (do inglês <i>Distributed Energy Resources</i>)
DMS	<i>Distributed Grid Management System</i>
HEMS	Sistemas de gestão de Energia Doméstica (do inglês <i>Home Energy Management System</i>)
NZEB	<i>Near Zero Energy Buildings</i>
OMIE	Operador de mercado ibérico
PC	Computador portátil (do inglês <i>Portable Computer</i>)
PV	Painel Fotovoltaico (do inglês <i>Photovoltaic</i>)
PVGIS	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
SoC	Estado de carga (do inglês <i>State of charge</i>)
VE	Veículo Elétrico

INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a motivação para a realização desta dissertação, assim como os seus objetivos e a forma como o tema se enquadra nas necessidades energéticas do mundo atual.

1.1 Motivação

Atualmente, muitos consumidores estão a adotar tecnologias que permitem reduzir os custos de eletricidade e as emissões de dióxido de carbono, como por exemplo painéis fotovoltaicos, baterias e veículos elétricos. Não há dúvida que, num futuro próximo, o uso e o impacto destas tecnologias, também conhecidas como fontes de energia distribuída [1], crescerão exponencialmente [2]. Na Figura 1.1, pode ser observado o exemplo de um edifício com geração distribuída.

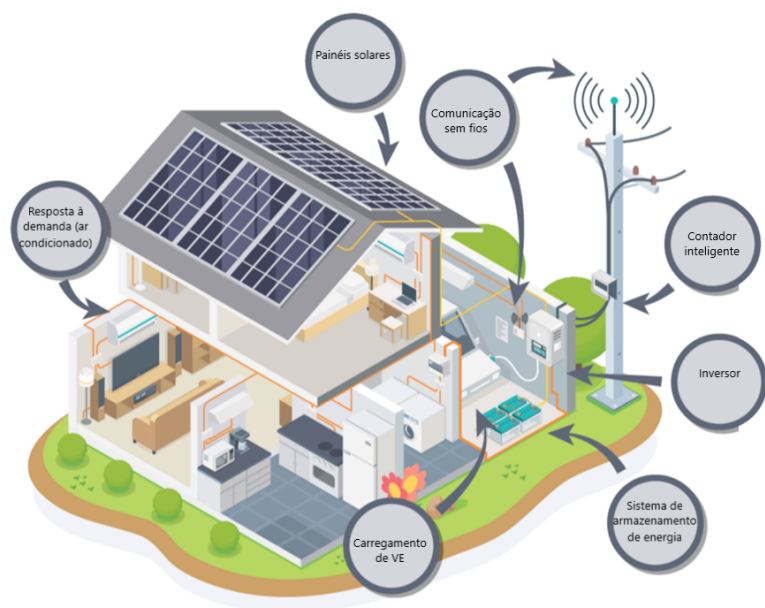


Figura 1.1: Exemplo de um edifício com geração distribuída. (Fonte: [1])

Contudo, uma rede abundante em recursos de geração distribuída apresenta alguns desafios. Primeiro, “a infraestrutura dos sistemas distribuídos não foi feita considerando a dimensão atual da geração distribuída, portanto, fluxos de carga provenientes de excesso de geração ou uma maior procura de energia pode levar a problemas de tensão e congestionamento da rede” [3]. Ainda, a variabilidade e a incerteza da energia proveniente da geração renovável dificulta o balanço da procura e oferta de energia.

Apesar destes desafios, a inerente flexibilidade operacional dos recursos de geração distribuída apresenta oportunidades para uma gestão de cargas eficiente e económica para os consumidores. Por exemplo, a descarga coordenada de um conjunto de baterias residenciais pode fornecer energia durante algum tempo de forma a ajudar o sistema quando forem necessárias reservas. Também, uma frota de carros elétricos pode parar o seu carregamento em alturas de alta procura no sistema. Estes princípios podem ser usados para evitar que o consumidor tenha de contratar mais potência na sua habitação.

Portanto, é necessária a gestão das cargas para diminuir a ocorrência de picos de consumo e, conseqüentemente, a energia consumida num edifício.

Para realizar uma gestão eficiente da energia é preciso considerar:

- A energia necessária para consumo (proveniente de produção renovável, de baterias ou da rede);
- Como utilizar a energia renovável gerada (consumir, armazenar ou vender);
- A forma como a instalação alimenta os equipamentos do edifício;
- Quais as melhores alturas para utilizar as cargas que são flexíveis.

Como possível solução para uma gestão eficiente de produção e consumo de energia, surge esta dissertação que pretende criar um sistema de gestão de cargas flexível e com o mínimo impacto no dia-a-dia dos consumidores.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma plataforma, através da ferramenta *Matlab* e do modelo de Richardson [18], que permita monitorizar a energia consumida num edifício e efetuar o suporte à decisão ao utilizador sobre qual a melhor hora para usar um certo equipamento, para que seja pedida o mínimo de energia à rede na habitação. Os edifícios em estudo incluem:

- produção fotovoltaica;
- baterias associadas aos painéis fotovoltaicos;
- carregamento de veículos elétricos;
- aparelhos eletrodomésticos como máquinas de lavar a roupa e loiça.

Com estas variáveis em mente, será possível testar vários cenários para o uso de energia de um edifício, de forma a gerir as cargas para que entrem em funcionamento quando existe disponibilidade energética. Consequentemente, isto resultará num menor congestionamento da rede, numa maior eficiência energética do edifício e numa possível redução de custos para o consumidor numa situação em que seja necessário um aumento de potência.

1.3 Enquadramento

A presente dissertação está enquadrada no tema da flexibilidade energética, isto é, na “capacidade de gerir o consumo e a produção de energia tendo em conta as condições climáticas, as necessidades dos consumidores e as ocorrências da rede” [4].

Para ser energeticamente flexível, um sistema deve ter a habilidade de alocar determinadas cargas a certas alturas do tempo, conforme a disponibilidade energética existente. Cargas flexíveis como, por exemplo, as que dizem respeito a máquinas de lavar e secar, de equipamentos de climatização e de aquecimento de água são cargas cujo funcionamento pode ser reagendado sem afetar o conforto do utilizador.

Nas figuras 1.2, 1.3 e 1.4, pode ser observado um exemplo prático da aplicação do conceito de flexibilidade energética num edifício, onde é realizada uma gestão temporal de cargas associadas a bombas de calor e ao carregamento de veículos elétricos.

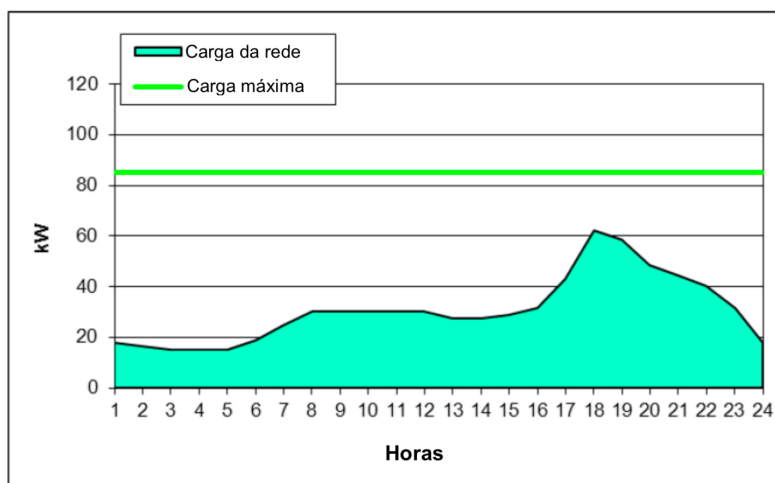


Figura 1.2 - Gráfico explicativo da gestão de carga num edifício. (Fonte [4])

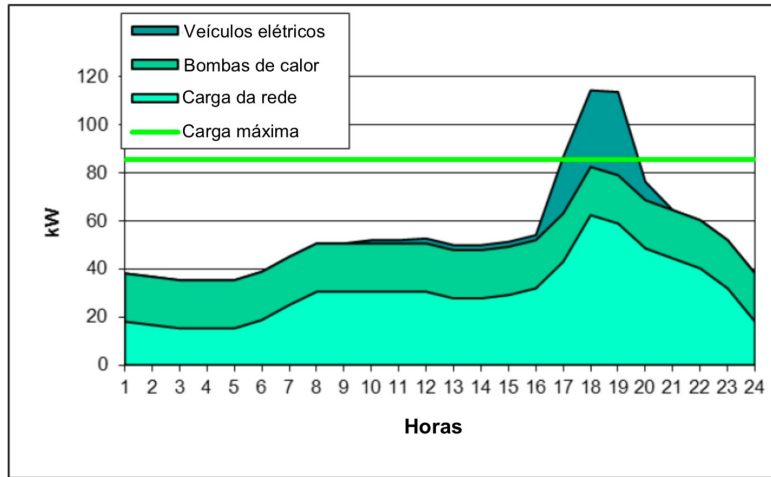


Figura 1.3 - Gráfico explicativo da gestão de carga num edifício (Fonte [4])

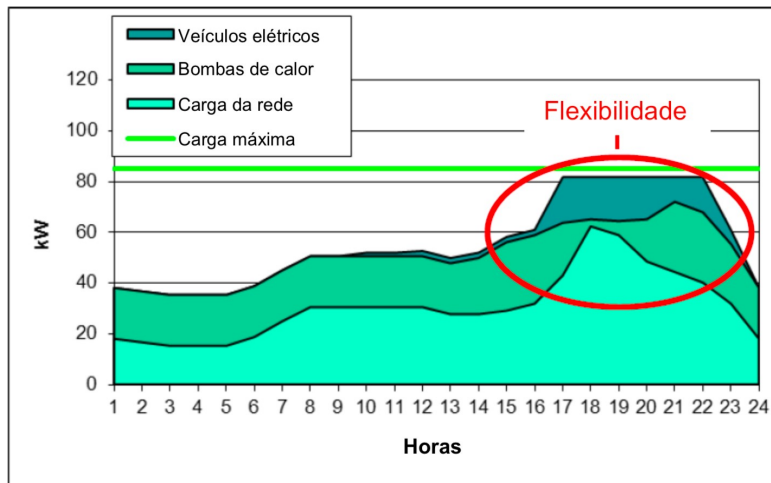


Figura 1.4 - Gráfico explicativo da gestão de carga num edifício (Fonte [4])

Na figura 1.2, é ilustrada a carga máxima da rede em questão e a carga elétrica utilizada pelo edifício ao longo do dia. A figura 1.3 mostra como, ao serem introduzidas cargas elétricas associadas ao carregamento de veículos elétricos e a bombas de calor, a carga máxima da rede é excedida num determinado período de tempo do dia. Na figura 1.4, pode ser observada uma gestão temporal das cargas, feita ao distribuir num maior espaço de tempo o consumo energético solicitado pelos equipamentos, de forma a nunca ser atingida a carga máxima da rede.

Desta forma mostra-se que, sempre que um sistema possui cargas alocáveis, para uma melhor distribuição do consumo de energia elétrica, é possível melhorar a gestão do consumo energético desse mesmo sistema, visando a sua flexibilidade energética.

O potencial de flexibilidade energética pode ser analisado dedutivamente, através de ferramentas de simulação ou indutivamente por análise estatística de séries temporais, devido às suas características de invariância no tempo e pressupostos lineares [5]. Na figura 1.5, observa-se um exemplo em que são agendadas cargas, com o auxílio de uma bateria, e é utilizado um modelo de regressão linear e ferramentas de simulação [6]. Este sistema integra um projeto da *Southern California Edison (SCE)*, uma das maiores empresas de eletricidade nos Estados Unidos [14].

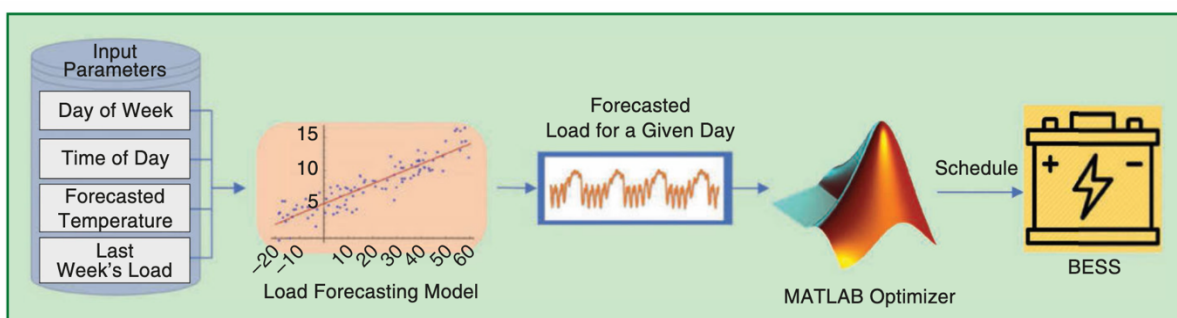


Figura 1.5 - Exemplo de agendamento de cargas, através de ferramentas de simulação, utilizando uma bateria. (Fonte: [6])

Deste modo, através da coordenação de flexibilidade de diferentes recursos, é possível otimizar a gestão de um sistema energético.

ESTADO DE ARTE

Neste capítulo, é apresentada uma introdução ao conceito de edifícios NZEB, que se relacionam diretamente com a flexibilidade energética. Nos subcapítulos seguintes serão apresentados, projetos que integram sistemas de monitorização de cargas, estudos sobre a disposição dos utilizadores para a flexibilidade energética e outras soluções já existentes. Cada projeto será descrito e será feita uma abordagem técnica dos processos utilizados, assim como serão avaliados os seus resultados. Por último, serão exploradas várias aplicações de monitorização de cargas que já se encontram no mercado.

2.1 Introdução e conceitos

A maioria da energia consumida provém dos gastos energéticos dos edifícios, promovendo deste modo a necessidade de desenvolver sistemas aptos de gerir e monitorizar o consumo energético associado a estes gastos.

O estudo dos NZEB (*Near Zero Energy Buildings*) começou por focar-se na definição do conceito e nos desafios ao nível da arquitetura e engenharia que estes apresentavam. Atualmente, os desafios centram-se no seu enquadramento numa realidade mais inteligente, funcional e interativa, onde as tecnologias de informação e comunicação e a interação com a rede se inserem fortemente [7].

Deste modo, os desafios atuais dos NZEB concentram-se no recurso a energias renováveis, na eficiência energética e, principalmente, na flexibilidade energética, dado que o aumento da energia proveniente de fontes renováveis obriga a que os edifícios sejam cada vez mais flexíveis a nível energético, de forma a evitar o congestionamento da rede [7].

Do ponto de vista energético, os sistemas flexíveis permitem controlar a energia consumida para que esta corresponda, sempre que possível, à energia produzida por fontes renováveis e que a energia renovável produzida seja armazenada para que, quando necessário, seja consumida. Isto deve-se ao facto de que, por vezes, os períodos de geração de energia a nível local não se relacionam com as alturas em que as necessidades energéticas existem.

Quanto à perspetiva do consumidor, é necessário ter em atenção a sua disposição para contribuir para a flexibilidade energética. Isto requererá uma alteração nos seus comportamentos de utilização de equipamentos como bombas de calor, máquinas de lavar, carregamento de VE, através de métodos como a utilização de aplicações que gerem e controlem o consumo dos seus edifícios. A adoção destes métodos pode ser estimulada através dos incentivos

financeiros e da educação dos consumidores sobre redes inteligentes. [8]

Posto isto, a flexibilidade energética é essencial para que seja possível adaptar o consumo energético à produção de energia renovável.

2.2 “Sensible Project” da EDP

2.2.1 Descrição do projeto

Trata-se de um projeto de demonstração que, através de aplicações residenciais, incorpora fontes de energia renováveis (microgeração, energia solar fotovoltaica e baterias) em redes de energia, edifícios e casas (figura 2.1), sendo benéfico não só para a rede de distribuição e sistema elétrico como para o consumidor [9].

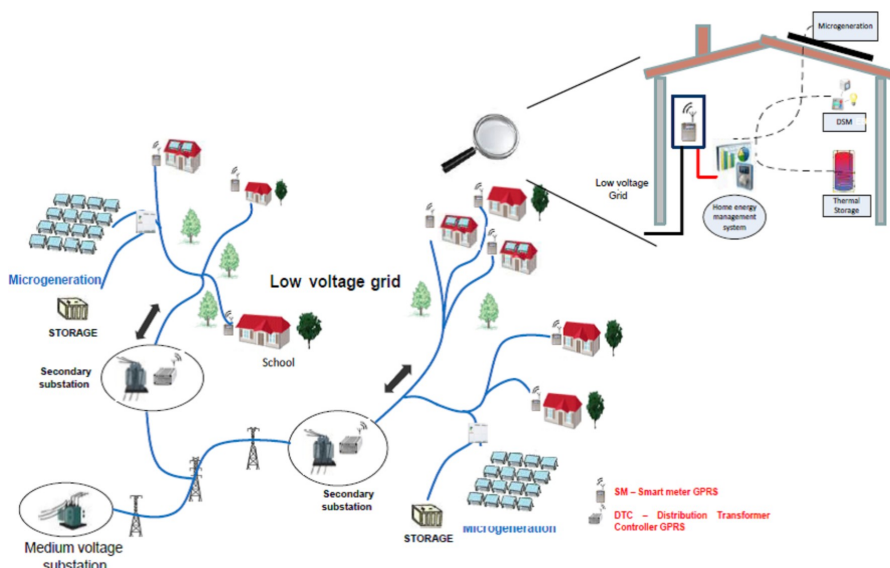


Figura 2.1: Demonstração ilustrativa do projeto *Sensible* (Fonte: [9])

O objetivo deste projeto consiste no desenvolvimento de uma gestão otimizada da rede, incorporando fontes de energias renováveis, tendo sido liderado pela *NEW R&D* e pela *Siemens*. Foi desenvolvido em três países: Reino Unido, Alemanha e Portugal, tendo sido este último implementado na cidade de Évora, em Valverde. O projeto realizou-se entre 2015 e 2018 com um orçamento de cerca de 15 milhões de euros.

O seu propósito foi testar tecnologias de gestão e de armazenamento de energia, priorizando uma gestão eficiente da rede, em casos de grande produção de energia renovável. Alcançando aproximadamente 250 habitações, instalaram-se sistemas de microgeração para 10% dos residentes, como também sistemas de gestão e armazenamento de energia, e termocumuladores inteligentes [9].

Os participantes do projeto não só receberam equipamentos para produção de energia solar fotovoltaica e a sua instalação, como também um sistema informático que geria os seus consumos energéticos.

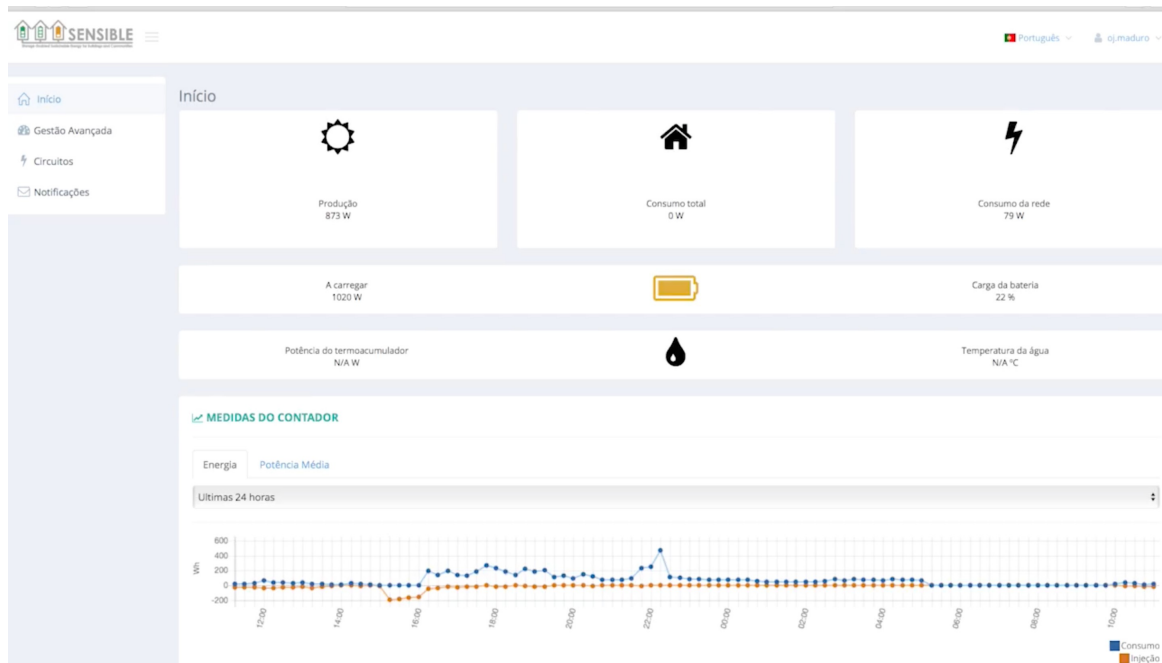


Figura 2.2 - Menu inicial da interface do software do projeto Sensible. (Fonte: [10])

A interface entre o utilizador e o sistema fornece informação sobre a produção de energia solar fotovoltaica e o consumo de energia, assim como a quantidade de energia proveniente da rede elétrica. Em adição, informa o consumidor sobre o estado do sistema de armazenamento de energia, percentagem de carga a que se encontra e a potência à qual a bateria carrega. O software disponibiliza também dados sobre o termoacumulador inteligente e do contador de energia do edifício do consumidor, onde é assinalada a energia instantânea injetada e consumida na rede durante um certo intervalo de tempo (Figura 2.3).

Em adição, este sistema inclui opções de gestão avançada, e a sua interface pode ser observada na figura 2.4, onde é apresentada a informação referentes aos painéis fotovoltaicos instalados na habitação de cada consumidor, como a potência máxima de produção e a potência de autoconsumo. Por fim, é disponibilizada informação mais específica da bateria como os seus níveis de potência de carregamento e de descarregamento e o seu estado atual.

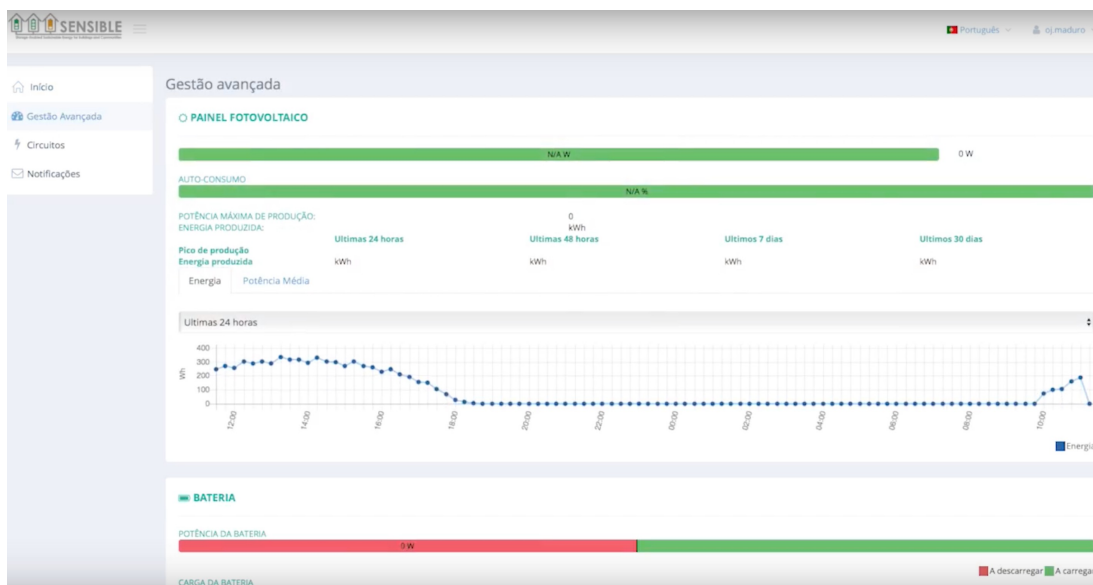


Figura 2.4 - Menu de gestão avançada da interface do software do projeto Sensible. (Fonte: [10])

Deste modo, o *Sensible* promoveu a produção de energia renovável e uma gestão otimizada do consumo energético, dado que permitiu aos consumidores monitorizarem a sua produção e consumo energia de forma automática (através de baterias), e geri-la de acordo com a informação recolhida e as necessidades de cada consumidor.

No que diz respeito aos resultados do projeto, verificou-se uma economia de cerca de 300 euros por ano por cada consumidor, através da produção solar fotovoltaica e pela introdução de mecanismos de gestão de consumo [11].

2.2.2 Sistema de monitorização integrado no projeto

A arquitetura do sistema do projeto *Sensible*, que pode ser observada na figura 2.5, é composta por uma subestação do cliente e por duas subestações da rede. O projeto é constituído por:

- Sistema solar fotovoltaico;
- Sistema de armazenamento de energia;
- Sistema de gestão de energia para controlo de cargas dos equipamentos dos consumidores;
- Disjuntores
- Equipamentos de aquecimento de água;
- Contadores inteligentes [9].

residência, pode ser observada na figura 2.7. Este sistema conecta a infraestrutura de operação do sistema de distribuição, os operadores de mercado, os atuadores independentes e a infraestrutura da residência do utilizador.

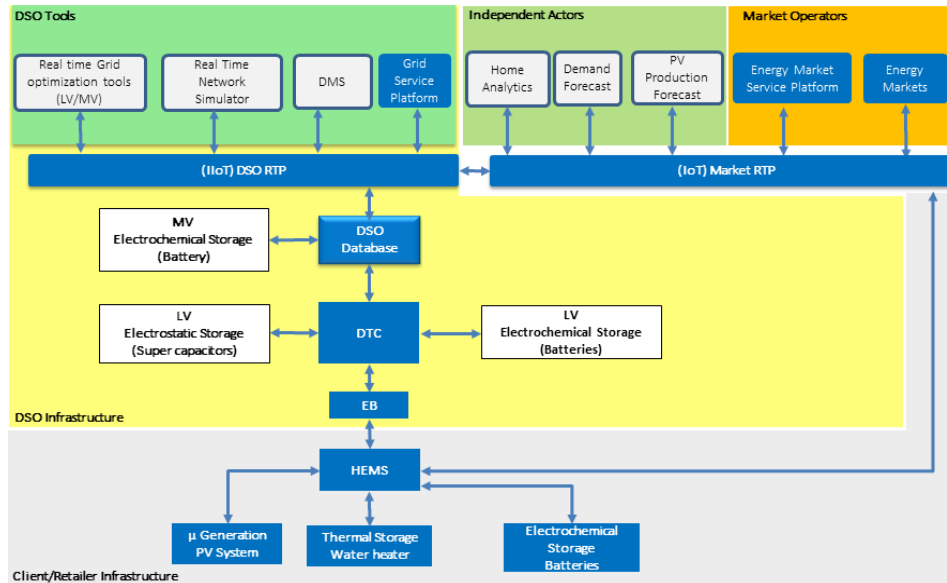


Figura 2.7 - Arquitetura do sistema de recolha de dados do projeto Sensible. (Fonte: [11])

2.3 “How can we tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings?”

2.3.1 Descrição do projeto

O estudo consiste na análise das variáveis a considerar na criação e implementação de um sistema de gestão de energia de um edifício.

Para este caso de estudo, consideraram-se três tipos de edifícios diferentes, de forma a serem obtidos vários sistemas de gestão e monitorização, dependendo das necessidades e especificações de cada imóvel.

No desenvolvimento de um sistema de gestão de consumo, há que ter em consideração algumas variáveis, nomeadamente:

- A quantidade de energia produzida do edifício (se for o caso);
- O consumo de energia do edifício;
- Os equipamentos elétricos que estão em constante utilização;
- Os equipamentos elétricos que são utilizados pontualmente;
- A quantidade de utilizadores do edifício e o seu comportamento (horário de utilização, frequência).

Foram então realizadas experiências para demonstrar a influência, no consumo energético dos edifícios em questão, das variáveis identificadas acima [12].

Na figura 2.8, está um esquema demonstrativo de um sistema de gestão de energia de um edifício, que inclui os protocolos de comunicação, utilizados na transmissão de dados, as variáveis de entrada, que são medidas pelos sensores, e as variáveis de saída, que são medidas pelos atuadores.

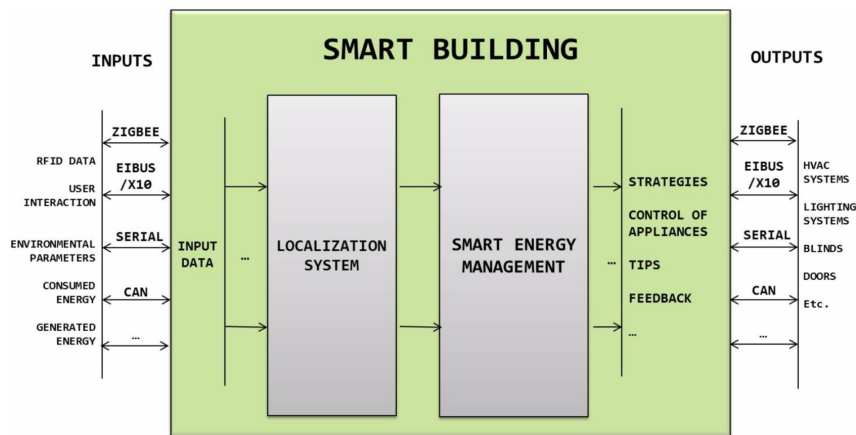


Figura 2.8 - Esquema representativo da gestão de energia do edifício (Fonte: [12])

Esta interface (*editor city explorer*) possibilita gerir o consumo de energia indica os equipamentos presentes no edifício e possibilita a configuração do sistema de gestão de energia pelo administrador. O exemplo de uma possível configuração do sistema pode ser observada na figura 2.9, utilizando os sensores, atuadores e interligações.

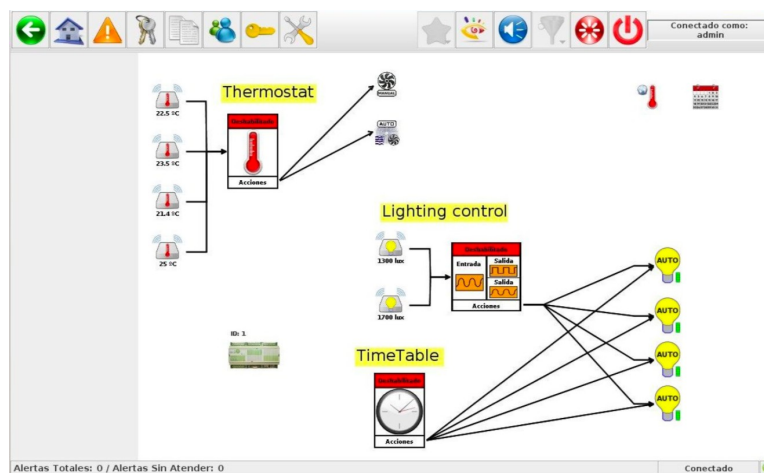


Figura 2.9 - Interface do editor city explorer. (Fonte: [12])

Durante a utilização experimental do sistema de monitorização em questão, consideraram-se exemplos de três tipos de edifícios: um edifício inteligente constituído por escritórios, outro constituído por laboratórios e um campus inteligente [12].

Nos tipos de edifícios considerados, o estudo foca-se na eficiência e no seu conforto energético. Deste modo, é necessário assegurar certas condições como a iluminação, a qualidade do ar e o conforto térmico e, para que tal aconteça, o sistema requer os seguintes atuadores

[12]:

- Sistemas de sombreamento que reduzem o brilho luminoso quando é excessivo;
- Sistemas de iluminação;
- Sistemas de aquecimento e arrefecimento;
- Sistemas de ventilação elétricos ou a abertura automática de janelas para arejamento natural.
- Eletrodomésticos e outros equipamentos elétricos.

Este programa contém uma interface que possibilita ao utilizador o controlo da temperatura de cada divisão, como se observa na figura 2.10 e o controlo da luminosidade no edifício, como mostra a figura 2.11.



Figura 2.10: Interface do controlo da temperatura no edifício (Fonte: [12])



Figura 2.11 - Interface do controlo da luminosidade no edifício. (Fonte: [12])

É ainda possível o utilizador controlar remotamente o edifício, caso o acesso à internet não esteja disponível, através do serviço de mensagens SMS.

2.3.2 Sistema de monitorização integrado no projeto

A interação entre a plataforma e o sistema de gestão de energia é feita através dos sensores e atuadores dos equipamentos e pela infraestrutura de conectividade externa, que possibilita o acesso remoto, serviços de segurança e assistência técnica, eficiência energética e conforto no prédio [12]. A arquitetura da aplicação pode ser observada na figura 2.12 e é composta por quatro camadas diferentes.

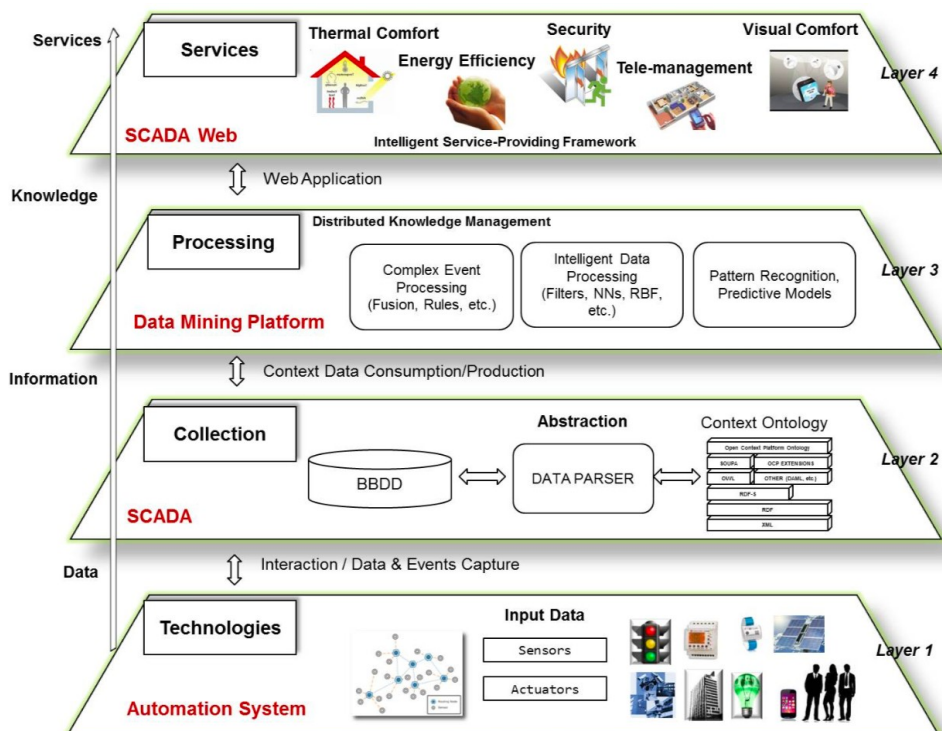


Figura 2.12 - Camadas da arquitetura do sistema de gestão de energia (Fonte: [12])

A primeira camada caracteriza-se pela medição, através dos sensores, dos dados recolhidos do edifício e faz a gestão de diversas bases de dados. A camada seguinte dedica-se ao processamento de dados e na sua conversão para um formato passível de ser utilizado. Quanto à terceira camada, são utilizadas técnicas de processamento de dados assim como egras pré-estabelecidas para cada serviço particular a exercer no prédio. Para finalizar, a quarta camada contém serviços nomeadamente a eficiência energética, a segurança e o conforto térmico e visual no edifício.

Este sistema é ainda formado por dois subsistemas: um sistema de controlo e de aquisição de dados, identificado como SCADA e uma rede de módulos de automação doméstica, identificada como HAM [12].

O HAM consiste num CPU de 4 MB a 32 bits de pequeno consumo e contém uma interface entre o utilizador e o sistema que controla os equipamentos e está ligado a todos os sensores, atuadores e eletrodomésticos instalados na habitação. Para que seja possível a conexão de cada HAM da rede de automação doméstica aos vários componentes, a generalidade dos protocolos de comunicação atuais são suportados no sistema [12]. Na figura 2.13, observa-se um esquema que mostra a incorporação dos variados elementos contidos nesta plataforma.

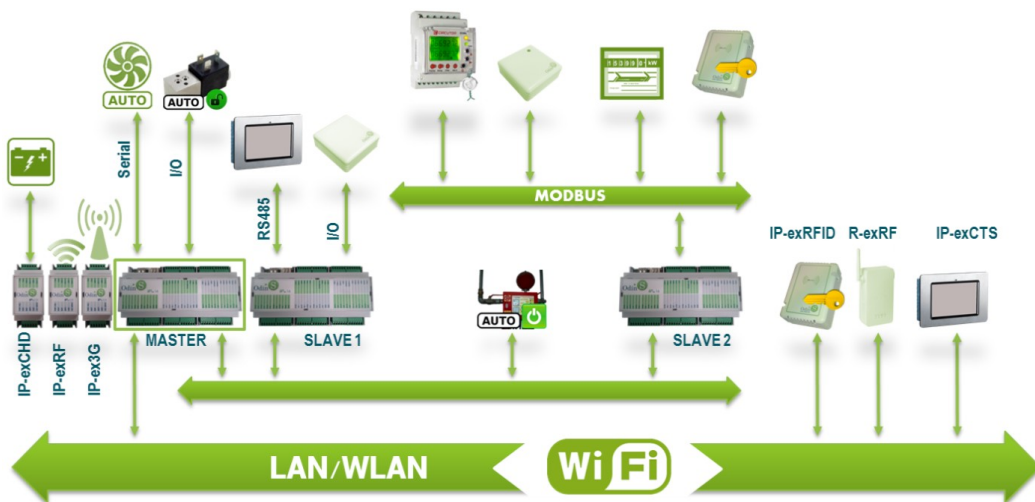


Figura 2.13 - Tipos de comunicação e componentes utilizados no sistema (Fonte: [12])

No que diz respeito ao sistema de aquisição e controlo de dados, são recolhidos os dados adquiridos pelos sensores e facultada aos utilizadores a informação processada. Na figura 2.14, observa-se a esquemática do funcionamento do sistema de aquisição e controlo de dados, onde a informação dos HAMs, usando o protocolo SHAP, é compilada através de um agregado de pontos coletores de dados (DCPs). Um dos DCPs é selecionado pelos HAMs, dependendo do desempenho prestado e de uma lista de prioridades. Esta informação é enviada para o *Data Base Proxies* que passa para registo de dados as medições dos HAMs. Por último, o acesso à base de dados é fornecido pelo *DB Writer* [12].

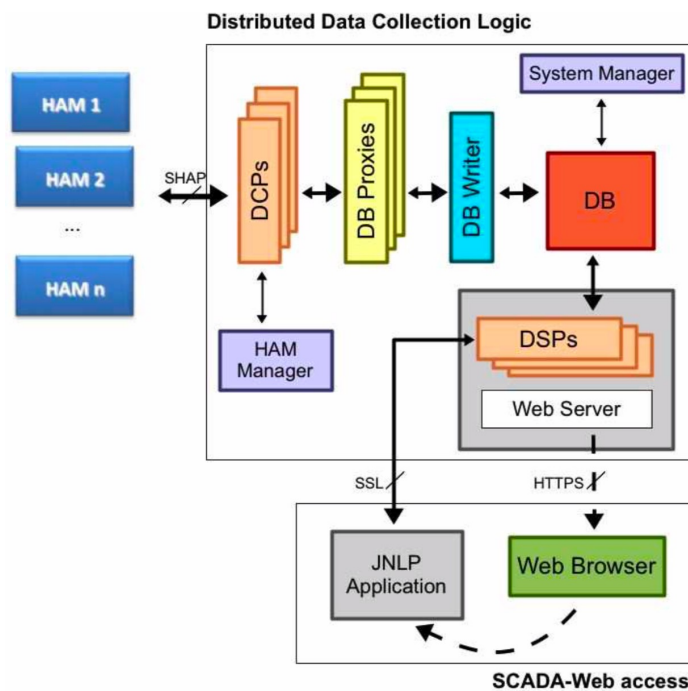


Figura 2.14: Esquema do sistema aquisição e controlo de dados do projeto (Fonte: [12])

Observando-se a figura 2.14, há dois módulos de gestão:

- O HAM Manager possibilita aos utilizadores verificarem o *firmware* do HAM;
- O *System Manager* possibilita o controlo das operações dos módulos *DB Proxies* e DCPs.

Por fim, o SCADA-Web possibilita que os dados guardados pelos HAMs estejam disponíveis para os utilizadores e administradores [12].

2.4 “The Electric Nation Project”

2.4.1 Descrição geral do projeto

Este projeto foi realizado no Reino Unido, ao longo de dois anos, e contou com a participação de 673 condutores de veículos elétricos. Teve como objetivo não só comprovar a flexibilidade energética do carregamento de VE em casa, como também explorar essa flexibilidade de forma a reduzir a carga na rede em alturas de maior procura de energia. Ainda, foi também estudada a disposição dos utilizadores a mudarem os seus hábitos de carregamento e a utilizarem uma aplicação para este efeito [13].

Foram oferecidos carregadores inteligentes, com a respetiva aplicação, aos participantes e estes foram divididos em dois grupos: 328 participantes utilizaram um carregador inteligente da *CrowdCharge* e os restantes 345 utilizaram um carregador da *GreenFlux*.

A *CrowdCharge* e a *GreenFlux* desenvolveram aplicações que foram usadas nos ensaios 2 e 3. Na Tabela 2.1, podem ser observados os diferentes ensaios do projeto.

Na aplicação da *CrowdCharge*, os participantes inseriam os planos de viagem na aplicação, introduzindo a distância da viagem e a hora de partida e, também, o estado da bateria do veículo quando iniciavam um carregamento. O sistema da *CrowdCharge* priorizava os carregamentos de veículos com hora de partida mais cedo ou com maior necessidade energética conforme a viagem.

Na aplicação da *GreenFlux*, a partir do ensaio 2, um botão de alta prioridade estava disponível na aplicação quando o carregamento estava em curso. Este sistema alocava corrente para os carregamentos em que fosse indicada alta prioridade e a restante corrente era alocada para outras sessões de carregamento. No ensaio 3, a aplicação permitia aos participantes definir a que horas o carregador funcionaria, por exemplo, quando o preço da energia é mais elevado entre as 16h30 e as 22h00, o carregamento ficaria em pausa.

Tabela 2.1: Sumário do estado dos ensaios do projeto (Fonte: [13])

Estados dos Ensaios	Controlo de procura ativo se a procura excedesse a capacidade da rede	Participantes informados se o controlo da procura estava ativo	Possibilidade dos participantes interagirem com o carregamento	Ganhos ou perdas financeiras
Sem Controlo	Não	-----	-----	-----
Ensaio 1: cego	Sim	Não	Sim	Não
Ensaio 2: interativo	Sim	Não; apenas para os utilizadores da <i>GreenFlux</i>	Sim	Não
Ensaio 3: com incentivo	Sim	Não; apenas para os utilizadores da <i>GreenFlux</i>	Sim	Sim, relacionado com a hora a que o carregamento ocorria

No que diz respeito às horas a que os carregamentos ocorriam, como se pode observar na figura 2.15, dava-se um pico nas sessões de carregamento ao fim da tarde, particularmente em dias de semana. Isto deve-se à chegada dos utilizadores a casa e coincide com o aumento da procura na rede em áreas residenciais, o que indica que a flexibilidade energética é necessária para evitar um reforço da rede para acomodar a carga adicional [13].

Havendo esta necessidade de flexibilidade energética, dado o pico de carga proveniente do carregamento em casa, foi avaliada a flexibilidade dos utilizadores nas horas de carregamento dos veículos. Neste contexto, flexibilidade significa que a velocidade de carregamento pode ser reduzida sem inconveniência para os utilizadores, isto é, se colocar o veículo a carregar, por exemplo, durante a noite, carregará durante mais tempo, utilizando menos energia. A flexibilidade no carregamento dos utilizadores, em função das horas do dia, pode ser observada na figura 2.16.

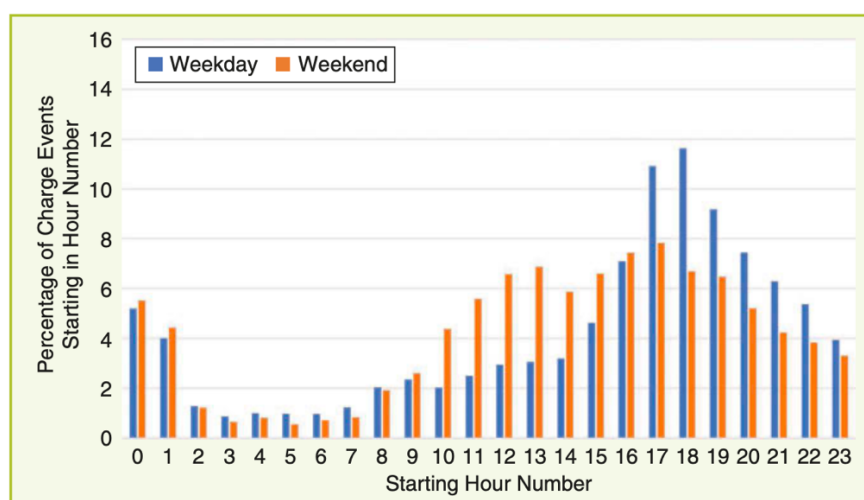


Figura 2.15 – Distribuição das horas de início de carregamento em dias úteis e em fins de semana. (Fonte: [13])

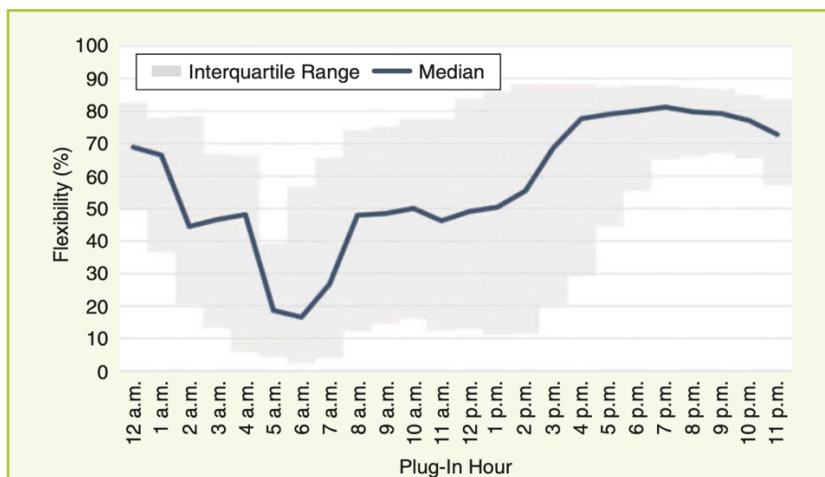


Figura 2.16 – Flexibilidade de carregamento nas diferentes horas do dia, num dia útil. (Fonte: [13])

A figura 2.16 evidencia que a flexibilidade energética é maior durante a noite e menor de manhã, como seria de esperar, pois relaciona-se com as horas a que os utilizadores saem de casa para o trabalho e regressam. Este período de tempo coincide, também, com as horas em que a rede está mais sobrecarregada, o que pode ser muito vantajoso.

Em adição, os participantes da *Electric Nation* completaram inquéritos sobre a sua experiência em cada ensaio e as suas opiniões sobre o carregamento inteligente de VE. Na figura 2.17, pode ser observado o nível de satisfação dos utilizadores com as condições de carregamento durante cada ensaio do projeto.

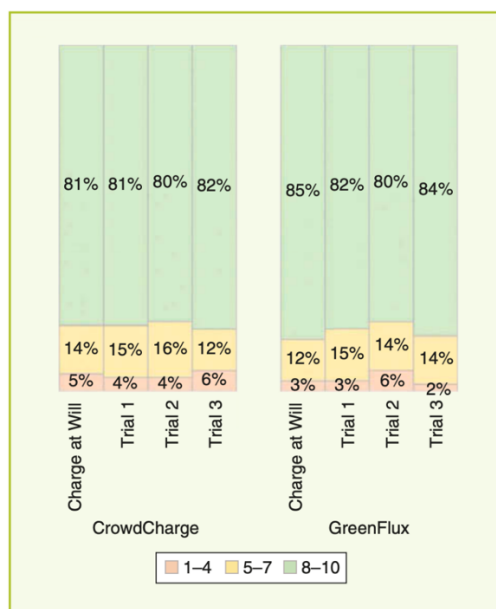


Figura 2.17 – Nível de satisfação dos utilizadores em cada ensaio do projeto (10="Completamente Satisfeito").
Fonte: [13]

Observa-se que a satisfação dos utilizadores manteve-se alta em todos os ensaios do projeto, incluindo nos ensaios em que os carregamentos foram controlados (velocidade de carregamento reduzida) de acordo com a procura na rede na altura.

Tendo isto em conta, podem ser tiradas conclusões sobre se o carregamento inteligente pode ser adotado de forma mais comum no futuro.

2.4.2 Conclusões retiradas do projeto

Os resultados da *Electric Nation* demonstram como os carregadores inteligentes são cruciais no aproveitamento da flexibilidade energética dos carregamentos de VE. A Figura 2.16 mostra que existe uma quantidade substancial de flexibilidade que se alinha perfeitamente com os períodos em que a procura de eletricidade é tipicamente maior. Na figura 2.18, pode ser observada a probabilidade dos utilizadores adotarem cada ensaio do projeto.

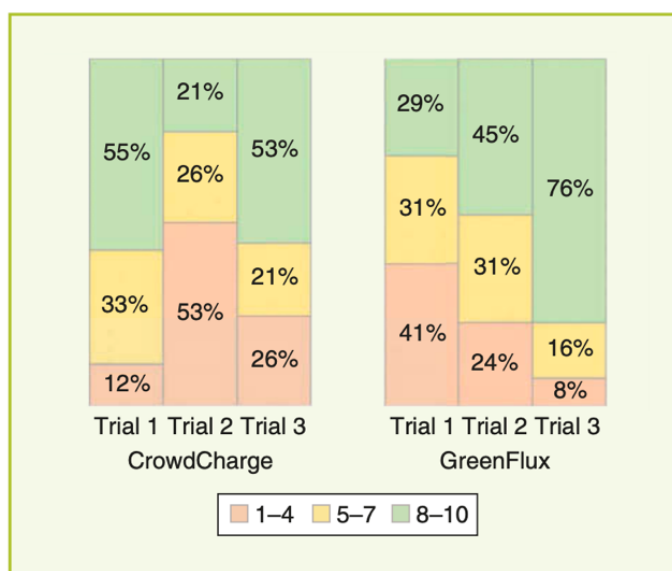


Figura 2.18 – A probabilidade dos utilizadores adotarem cada ensaio do projeto (10=“Altamente Provável”).
(Fonte: [13])

Os participantes do grupo da *CrowdCharge* preferiram a simplicidade do ensaio 1 ou os incentivos monetários associados ao ensaio 3. Já os participantes do grupo da *GreenFlux* deram preferência ao ensaio 3, uma vez que a aplicação permitia-lhes o controlo dos carregamentos para maximizar o incentivo monetário que poderiam receber.

Portanto, sem incentivos ou controlo para reduzir o carregamento durante períodos de alta procura criada pelo carregamento de VE, podem existir problemas de capacidade da rede em alguns sistemas de distribuição. Este projeto demonstrou a flexibilidade inerente do carregamento doméstico de VE, particularmente quando os veículos são carregados à hora de pico noturna [13]. Durante o projeto, provou-se que era tecnicamente factível o controlo da procura através do carregamento inteligente, especialmente quando combinado com uma aplicação e um sistema de incentivos para os utilizadores.

Em suma, o carregamento inteligente de VE é um método eficaz para controlar a adicional procura na rede causada pela eletrificação da transportação e, conseqüentemente, reduz a necessidade de reforçar a capacidade da rede.

2.5 “Evaluating the benefits of a solar home energy management system: impacts on photovoltaic power production value and grid interaction”

2.5.1 Descrição geral do projeto

Este projeto tem como objetivo avaliar os benefícios de um sistema de gestão de energia solar em residências unifamiliares na Suécia, uma vez que as residências situadas em prédios horizontais têm menor probabilidade de possuírem um sistema solar fotovoltaico. [16]

Foram desenvolvidos métodos de simulação de gestão e de armazenamento de cargas, os quais foram testados num conjunto de 20 habitações e monitorizou-se o respetivo consumo de eletricidade e produção fotovoltaica. Recolheram-se dados para todos os eletrodomésticos em cada habitação para que fosse feita uma avaliação detalhada da flexibilidade energética de cada equipamento (figura 2.19).

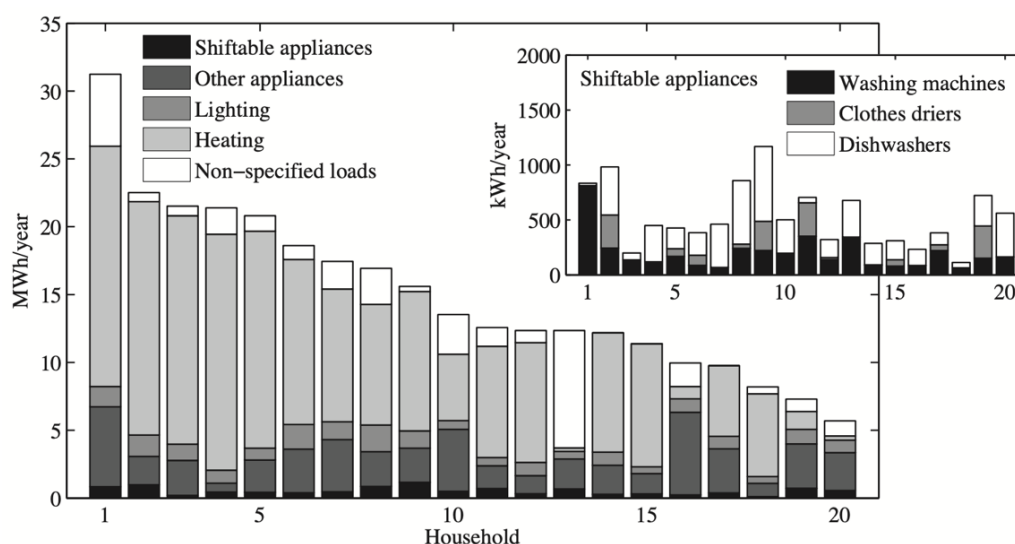


Figura 2.19 – Procura de eletricidade residencial em MWh/ano em cada residência no estudo. O gráfico mais pequeno mostra esta procura se divide pelos equipamentos flexíveis. (Fonte: [16])

Com este projeto, concluiu-se que o autoconsumo pode ser aumentado em média até 200 kWh por ano, o que corresponde a 40% das cargas flexíveis e a uma pequena percentagem da produção PV total. Ainda, o armazenamento de energia pode melhorar substancialmente o autoconsumo, porém se a bateria for de pequenas dimensões (por exemplo, 0,6 kWh de capacidade), a diferença no autoconsumo será a mesma ao utilizar o agendamento de cargas.

Deste modo, sistemas de gestão de energia solar que ofereçam agendamento de cargas flexíveis (certos eletrodomésticos) têm potencial para melhorar o autoconsumo e a produção numa pequena percentagem por ano, mas, a não ser que um sistema de armazenamento substancial seja introduzido, estes sistemas provavelmente não terão impacto na gestão do sistema de distribuição [16].

2.5.2 Metodologia utilizada no projeto

O software de simulação foi implementado no *Matlab* e baseou-se em modelos de algoritmos de bateria e de gestão de cargas. As simulações neste projeto foram realizadas tendo por base uma residência unifamiliar que contém os seguintes componentes:

1. Carga elétrica do edifício que consiste em todas as cargas individuais, equipamentos de luz e calor, ventilação e sistemas de ar condicionado utilizados na habitação;
2. Sistema solar fotovoltaico conectado à rede e instalado no telhado do edifício;
3. Um sistema de gestão de energia solar que serve como uma interface entre o sistema PV, o edifício e a rede de distribuição. Este sistema apresenta duas funções para aumentar o autoconsumo de eletricidade proveniente de PV:
 - Gestão de cargas: o sistema fornece um agendamento ideal diário dos eletrodomésticos que são programáveis (máquinas de lavar, secar e máquinas da loiça).
 - Armazenamento de curto-prazo em baterias: uma bateria de pequenas dimensões serve como *buffer* entre o edifício e a rede de distribuição, armazenando, ao longo de um dia, a energia produzida em excesso. [16]

Na figura 2.20, observa-se o algoritmo de gestão de cargas em funcionamento. No dia estudado, alguns equipamentos eram originalmente utilizados à noite. O algoritmo identifica o ciclo de funcionamento de cada equipamento e altera-os para de manhã quando existe um excesso de geração de energia PV. Consequentemente, o autoconsumo da energia PV é aumentado e a interação com a rede diminui. [16]

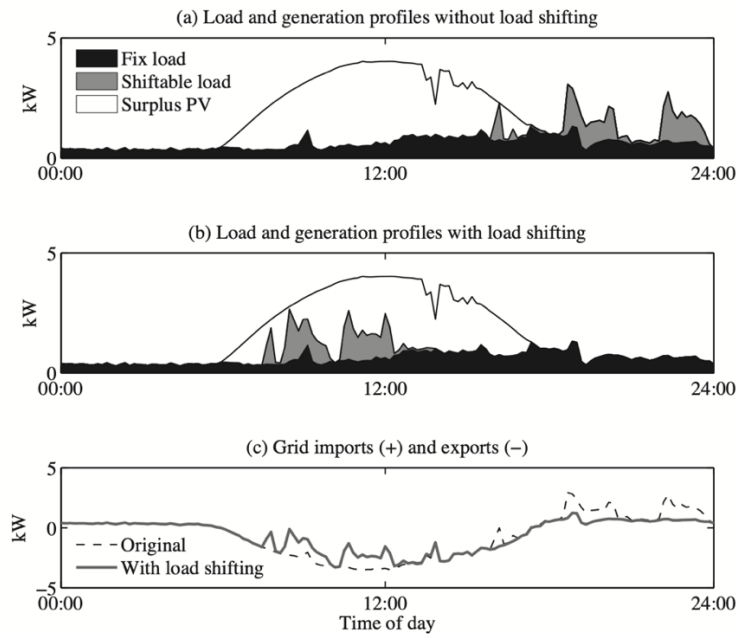


Figura 2.20: Exemplo do funcionamento do algoritmo de gestão de carga num certo dia. (Fonte: [16])

A bateria atua como um *buffer* entre o sistema PV e a rede e está em carregamento sempre que existe um excesso de geração PV e em descarregamento quando ocorre procura de energia. A figura 2.21 mostra um exemplo de como o modelo da bateria funciona no mesmo dia considerado acima. De manhã, o estado de carga da bateria (SoC) está no seu limite mais baixo, tendo toda a energia armazenada do dia anterior sido utilizada. Quando começa a existir excesso de PV, a bateria é carregada até atingir a sua capacidade máxima. Ao existir procura na rede da parte da tarde, a bateria começa a descarregar até atingir o SOC mais baixo.

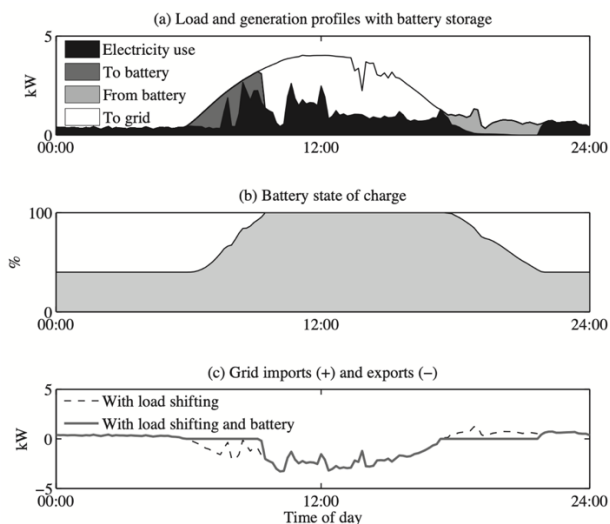


Figura 2.21: Exemplo do algoritmo da bateria aplicado no mesmo dia que o da Figura 2.20. O perfil de carga é o perfil com gestão de carga na Figura 2.20 . (Fonte: [16])

2.6 Aplicações de Gestão de Energia no mercado

Considera-se de extrema relevância para o trabalho proposto o estudo de aplicações de gestão de energia já existentes no mercado. Existem alguns produtos semelhantes à plataforma proposta, contudo nenhuma oferece todo o conjunto de funcionalidades que se pretende desenvolver.

Aplicações como a Electric Kiwi [17], Redback Energy [19], Greenely [20], Fresh Energy [21] fornecem ferramentas que informam o utilizador qual a melhor altura para usar eletricidade, baseadas em previsões do custo de eletricidade, sem considerar quais os equipamentos a que o utilizador dá uso, apresentando também os consumos dos edifícios. Outras aplicações como a Curb Energy [22], a Cside [23] e a edp r:dy [24], para além de realizarem a análise de consumos, possibilitam que o utilizador ligue ou desligue certos equipamentos a partir da aplicação, de acordo com as suas necessidades, podendo mesmo fazê-lo à distância.

Existem também aplicações que oferecem planos de energia flexíveis, que reduzem o custo do consumo energético através de algoritmos influenciados pelas escolhas do utilizador, como a Smapee [25], EasyOptimize [26] e a Smapee [27].

A nível nacional, destaca-se a edp:r:dy [24], que apresenta ao utilizador os consumos energéticos do seu edifício ao longo do dia, controla a potência para que a potência contratada não seja ultrapassada e permite controlar certos equipamentos da habitação remotamente.

METODOLOGIA E IMPLEMENTAÇÃO

O objetivo principal deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma aplicação que aconselha o utilizador sobre quais as melhores horas para utilizar os equipamentos desejados num certo dia, de forma a minimizar a quantidade de energia pedida à rede.

Na figura 3.1, encontra-se um esquema representativo do sistema de otimização desenvolvido.

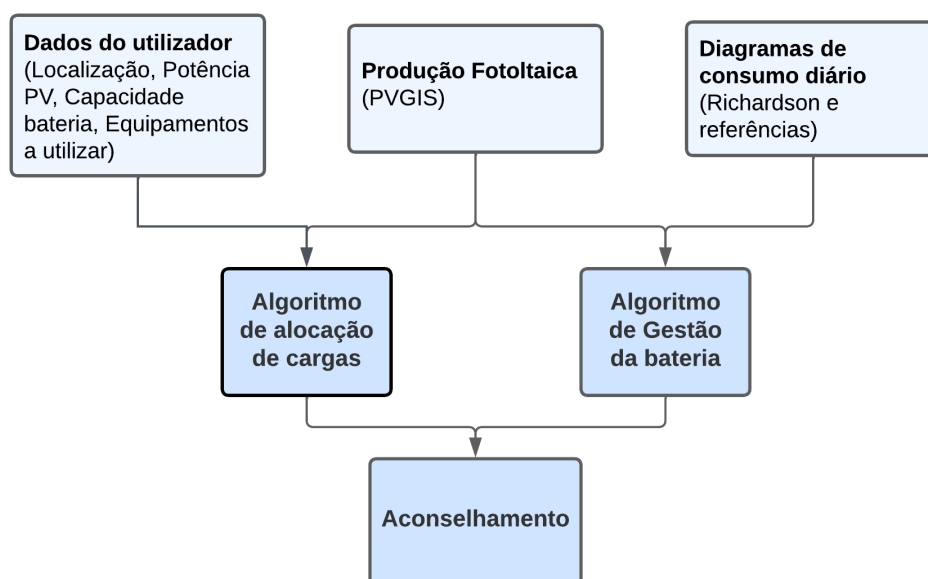


Figura 3.1 – Esquema representativo do modelo desenvolvido.

Na primeira etapa, são carregados os dados base para o funcionamento da aplicação, nomeadamente os dados do utilizador, os diagramas de carga dos equipamentos e a produção fotovoltaica.

Na segunda etapa, através do algoritmo de alocação de cargas e do sistema de gestão da bateria, é calculada qual a melhor distribuição de cargas ao longo do dia para que seja pedida o mínimo de energia à rede.

Por último, através de uma interface gráfica desenvolvida em *Matlab*, é feito o suporte à decisão ao utilizador sobre quais as melhores horas para utilizar cada equipamento.

Neste capítulo, serão descritas as metodologias utilizadas para a elaboração desta plataforma.

3.1 Aquisição de Dados

De forma a que o algoritmo seja ajustado a qualquer utilizador, terão de ser introduzidos os seguintes dados:

- Localização da residência (latitude e longitude);
- Número de residentes no edifício;
- Mês do ano e dia (dia de semana ou fim de semana);
- Potência instalada dos painéis fotovoltaicos;
- Capacidade da bateria;
- Equipamentos que deseja utilizar.

Para além destas informações, são necessários os dados de produção fotovoltaica para cada hora do dia, obtidos através do *site Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*, os diagramas de carga dos equipamentos a alocar e os diagramas de consumo de habitações, obtidos através de um ficheiro *excel* desenvolvido por Richardson e Thomson [27].

A aquisição destes dados será explicada nos capítulos 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3.

3.1.1 Produção Fotovoltaica

Em primeiro lugar, foi escolhido um modelo de painel fotovoltaico, cujas características serão necessárias para os cálculos da produção fotovoltaica. Foi escolhido o modelo JÁ Solar 550W JAM72S30 MR, cujas especificações técnicas podem ser observadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Especificações técnicas do painel JÁ Solar 550W JAM72S30 MR [28].

Potência Nominal	550 W
Temperatura Nominal da Célula (NOCT)	45 ± 2 °C
Coefficiente da Temperatura de P _{máx}	-0,35%/°C
Eficiência do Módulo	21,3%

De forma a obter os valores da produção fotovoltaica de uma certa hora de um dia, foi utilizada a ferramenta PVGIS. Esta ferramenta apresenta os dados da temperatura ambiente e

da irradiância solar ao longo de um dia, para uma certa localização em coordenadas, e permite fazer a ligação com o *Matlab*.

Na figura 3.2, pode-se observar um exemplo do output da ferramenta, para um dia do mês de Agosto em Ponta Delgada. De referir que esta ferramenta considera que todos os dias de um certo mês têm os mesmos valores de irradiância e temperatura ambiente, obtendo-se assim os resultados de um dia típico para o mês seleccionado.

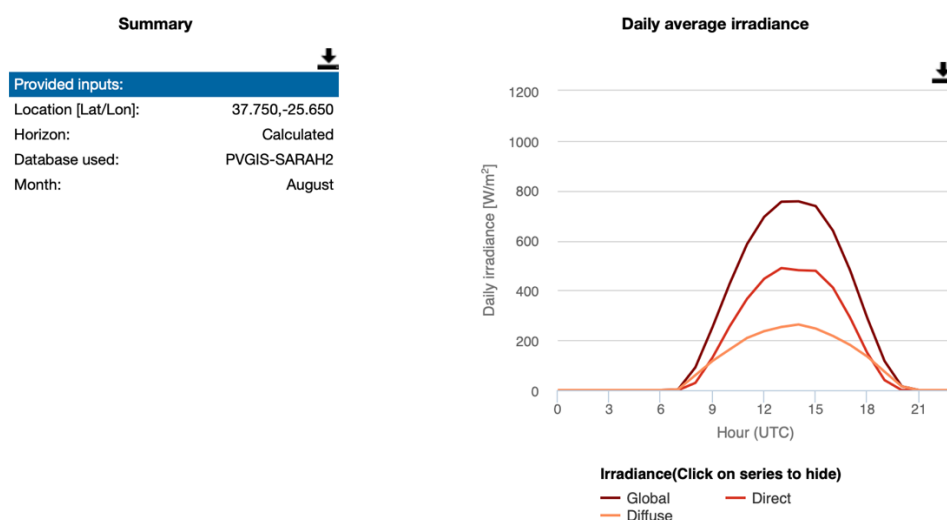


Figura 3.2 - Valores da irradiância solar ao longo de um dia de Agosto em Ponta Delgada.

Com estes dados, é possível construir o perfil de produção fotovoltaica de um certo dia. Para tal, é calculada a temperatura da célula, utilizando a expressão (3.1), onde T_{amb} e G são respetivamente os valores da temperatura ambiente e da irradiância, retirados do PVGIS, numa determinada hora do dia.

$$T_{celula} = T_{amb} + \frac{NOCT - 20^\circ}{800} \times G \quad (3.1)$$

Posteriormente, calcula-se a potência DC máxima (W), com a expressão (3.2), onde P_{inst} corresponde à potência de painéis fotovoltaicos instalada.

$$P_{DCmax} = \frac{G \times P_{inst}}{1000} \quad (3.2)$$

Em seguida, através da expressão (3.3), é calculada a potência DC à saída dos módulos, onde α_T é o coeficiente de temperatura do módulo.

$$P_{DC} = P_{DCmax} \left(1 + \frac{\alpha_T}{100} (T_{cel} - 25^\circ) \right) \quad (3.3)$$

Por último, é possível obter a potência AC à saída do inversor com a expressão (3.4), em que p_{Joule} são as perdas de Joule nos cabos DC e η_{inv} é o rendimento do inversor. Consideraram-se as perdas de Joule de 10% e um rendimento do inversor é de 95% a qualquer hora do dia, de forma a simplificar os cálculos.

$$P_{AC \text{ saída do inversor}} = P_{DC} \times \eta_{\text{inv}} \times (1 - p_{\text{joule}}) \quad (3.4)$$

Estes cálculos são efetuados para todos os meses do ano, obtendo-se assim o perfil da produção fotovoltaica para o mês que o utilizador deseja consultar. A título de exemplo, na figura 3.3, pode ser observada a potência produzida num dia do mês de Maio, em Ponta Delgada, para uma potência instalada de 1100W.

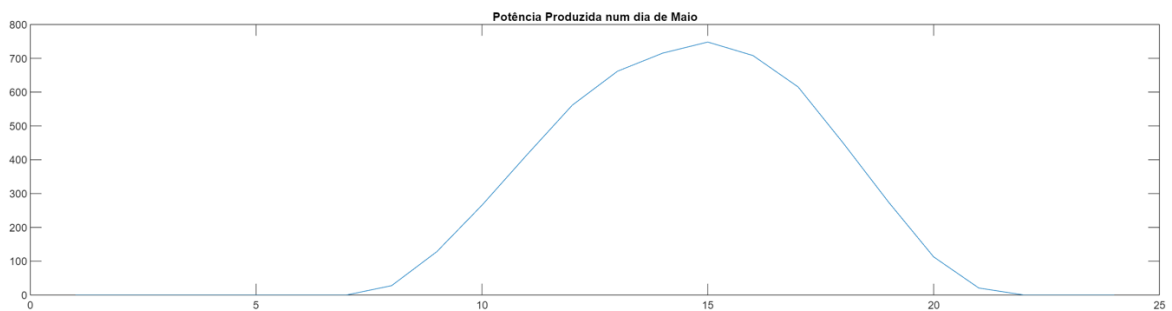


Figura 3.3 - Potência fotovoltaica produzida num dia de Maio, em Ponta Delgada, em Watt.

3.1.2 Diagramas de consumo de habitação

De forma a simular o consumo diário de uma habitação de forma mais precisa, foi utilizada a ferramenta *excel* desenvolvida por *Richardson e Thomson* [27].

Este ficheiro gera o diagrama de consumo de uma habitação, de acordo com o número de residentes, o mês, o dia da semana e os equipamentos que existem no edifício, contabilizando também a iluminação e outros consumos típicos. A ferramenta contém uma lista pré-definida de equipamentos que são possíveis de selecionar manualmente ou aleatoriamente.

Na figura 3.4, é possível observar um exemplo de simulação da ferramenta, onde consta um diagrama de cargas diário de uma habitação com 2 residentes, no mês de agosto, num dia de semana.

De notar que o utilizador da plataforma a desenvolver não terá contacto com a ferramenta de *Richardson e Thomson* [27], esta é apenas utilizada para obter os diagramas de carga de habitação e será manipulada no *back end* de acordo com o *input* do utilizador.

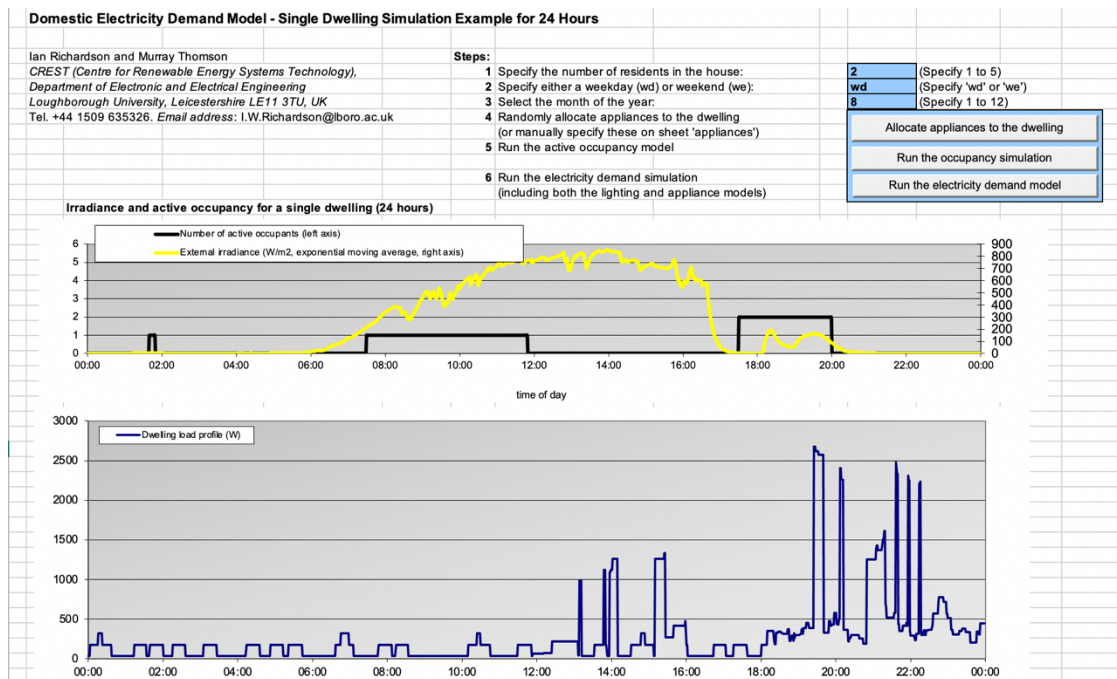


Figura 3.4 - Exemplo de simulação de um diagrama de cargas diário de habitação na ferramenta [27].

3.1.3 Diagramas de carga dos equipamentos

Para desenvolver o algoritmo de alocação de cargas, considerou-se que os equipamentos a gerir são a máquina de lavar a roupa, a máquina de secar a roupa, a máquina de lavar a loiça e o carregador de veículo elétrico. Tal deve-se ao facto de serem, dos equipamentos considerados numa habitação, os que consomem mais energia e os que são mais facilmente alocados a certas horas, isto é, não faria sentido aconselhar o utilizador a usar a televisão ou o forno apenas das 2h às 3h da manhã ou num outro horário inconveniente.

Relativamente ao diagrama de carga das máquinas de lavar, secar e da loiça, estes constam no ficheiro *excel* desenvolvido por Richardson [27], contudo, foram utilizados outros valores [29], apresentados nos anexos. Verificou-se que, no ficheiro *excel*, estas máquinas não funcionavam corretamente nas simulações dos meses de verão, o que se tornou impeditivo ao algoritmo e deu-se preferência a inserir no ficheiro *excel* valores de carga para ciclos de 1h de funcionamento destas máquinas.

No que diz respeito ao carregador do veículo elétrico, considerou-se um carregador de 7,2 kWh para um veículo elétrico da marca *Nissan Leaf*, com uma bateria de capacidade de 40 kWh.

A figura 3.5 ilustra o diagrama de cargas de uma sessão de carregamento de um veículo elétrico, utilizando um carregador de 7,2 kWh.

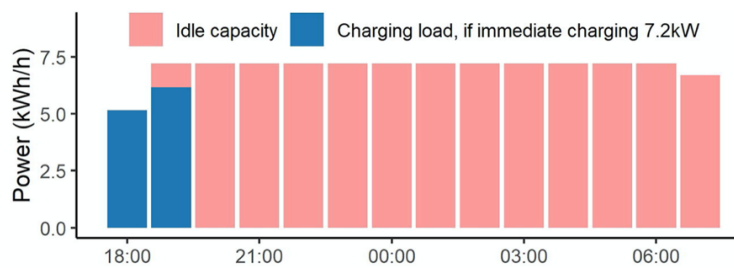


Figura 3.5 - Diagrama de cargas de uma sessão de carregamento de VE, com um carregador de 7.2kW [30].

Assumiu-se que o diagrama de cargas do carregamento do veículo seria constante, consumindo 7.2 kW em uma hora, podendo o diagrama ser consultado nos anexos. O tempo que o veículo carrega variará de acordo com a percentagem da bateria a que se encontra.

3.2 Algoritmo de alocação de cargas

Para definir qual a melhor hora do dia para utilizar uma certa máquina, foi desenvolvido um algoritmo de alocação de cargas, inspirado em [31], cujo fluxograma consta na figura 3.6, onde t é a hora de funcionamento do equipamento e t_{min} e t_{max} são os limites inferiores e superiores do intervalo desejado de funcionamento dos equipamentos.

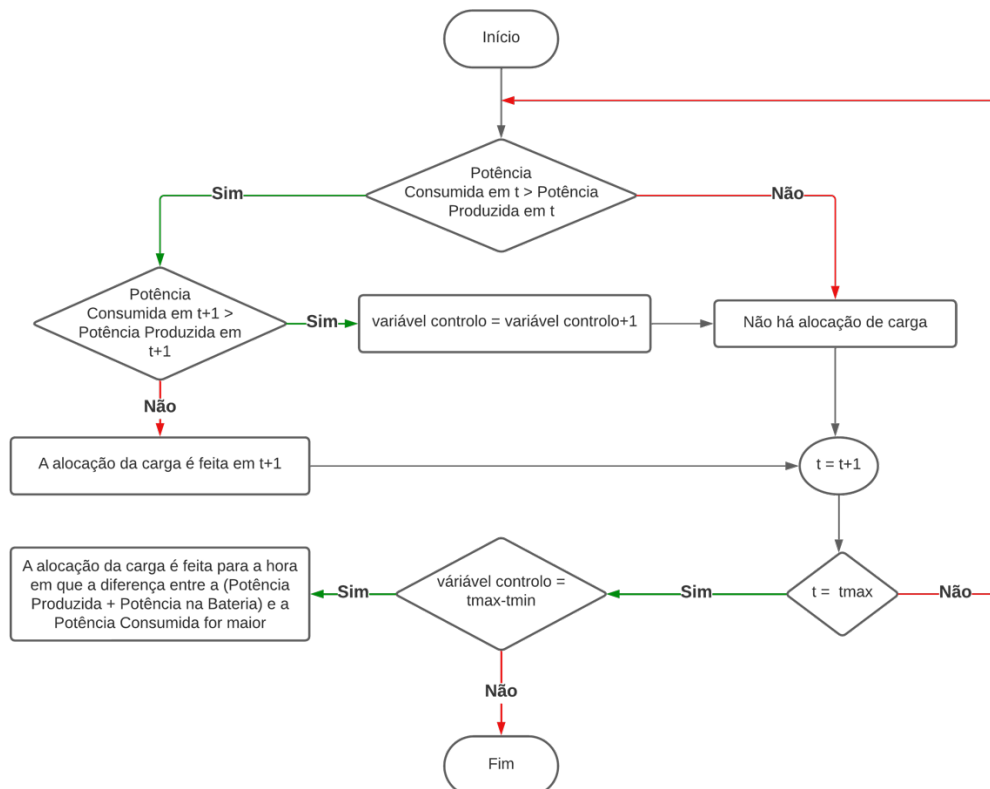


Figura 3.6 – Fluxograma do algoritmo de alocação de cargas, adaptado de [31].

Este algoritmo é aplicado aos equipamentos cuja carga será alocada, que são as máquinas de lavar a roupa, secar a roupa, da loiça e o carregador de veículo elétrico. O utilizador, ao seleccionar o equipamento que deseja utilizar, indica qual o horário de preferência de funcionamento desse equipamento, num intervalo de horas de t_{min} a t_{max} .

O algoritmo começa por verificar se, na hora t , a potência consumida na habitação, contendo já as cargas da máquina desejada, é superior à potência produzida pelos painéis fotovoltaicos. Se a potência consumida for inferior à potência produzida, o algoritmo não aloca a carga e vai verificar o mesmo para $t+1$, até t_{max} . Se a potência consumida for superior à potência produzida, será verificado se, em $t+1$, a potência produzida satisfaz o consumo da habitação e, se satisfazer, a máquina ficará alocada em $t+1$, se não satisfazer, a variável de controlo será incrementada e passa à próxima iteração de t .

Quando o ciclo chega à hora t_{max} é verificado se a variável de controlo é igual à diferença entre t_{max} e t_{min} , isto é, se o ciclo verificou todas as horas possíveis no intervalo de tempo em questão. Caso a variável de controlo seja inferior à diferença entre t_{max} e t_{min} , significa que o algoritmo conseguiu encontrar uma hora no intervalo dado em que a potência consumida é inferior à potência fotovoltaica e alocou o funcionamento do equipamento para essa hora. Se a variável de controlo for igual à diferença entre t_{max} e t_{min} , significa que o algoritmo não conseguiu encontrar uma hora em que a produção satisfizesse o consumo e alocou o equipamento para a hora em que a diferença entre a soma da produção fotovoltaica com a potência armazenada na bateria e o consumo da habitação for maior, como demonstrado na equação 3.5.

$$[P, t] = \max ((P_{PV}(t) + P_{bat}(t)) - P_{Consumo}(t)) \quad (3.5)$$

3.3 Algoritmo de gestão de armazenamento da bateria

Este algoritmo foi implementado com o objetivo de mostrar ao utilizador o comportamento da sua bateria ao longo do dia e para que, quando a produção fotovoltaica não satisfizer o consumo numa certa hora, o algoritmo de alocação de cargas terá em consideração o valor armazenado na bateria para alocar o equipamento no melhor horário possível.

O algoritmo utilizado foi inspirado no modelo de Reservatório de Energia [32] e tem como informação base a potência da bateria, a potência fotovoltaica, a potência consumida e o custo de energia. Como o foco principal deste trabalho não é o custo da energia, optou-se por utilizar uma matriz com os preços referentes ao ano de 2022 [33] apenas para uso neste algoritmo.

Para assegurar o correto funcionamento da bateria, é preciso definir o valor de potência de carga nominal para cada bateria, de forma a que a potência aos terminais da bateria não ultrapasse os níveis para o qual foi projetada. Da mesma forma, é necessário certificar que a energia armazenada não ultrapasse a capacidade da bateria, pelo que, de acordo com [32], foram definidos limites máximos e mínimos de energia, como explicado na equação 3.6.

$$\begin{cases} E_{bat\ max} \times 0,2 \leq E_{bat} \leq E_{bat\ max} \times 0,95 \\ P_{bat\ min} \leq P_{bat} \leq P_{bat\ max} \\ E_{inicial} = E_{bat\ max} \times \text{Percentagem inicial} \end{cases} \quad (3.6)$$

De notar que este algoritmo não considera o *aging* das baterias, isto é, a degradação do rendimento após cada ciclo de carregamento e descarregamento, daí ter sido considerado como capacidade máxima da bateria o limite de 95% da sua capacidade.

Na equação 3.7, é definido o modelo da bateria.

$$\begin{cases} E_{bat}(1) = E_{inicial} \\ E_{bat}(t) = E_{bat}(t-1) - P_{bat}(t-1)\Delta T \end{cases} \quad (3.7)$$

A bateria é carregada através do excedente de produção fotovoltaica e da rede elétrica e o algoritmo faz com que a bateria carregue no horário onde o valor da eletricidade seja mais baixo.

A gestão do armazenamento da bateria é feito através da otimização de programação linear com variáveis discretas e é definido pela função objetivo (3.8), que minimiza os custos associados à utilização da rede, onde $r(t)$ é o custo ao longo do dia.

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T P_{rede}(t)r(t)\Delta T - E_{bat} \quad (3.8)$$

Por fim, a equação principal deste algoritmo, definida em (3.9), dita que a potência consumida na habitação tem de ser satisfeita pela potência fotovoltaica, a potência na bateria e a potência da rede.

$$P_{consumo}(t) = P_{FV} + P_{bat} + P_{rede} \quad (3.9)$$

3.4 Interface Gráfica

A componente gráfica deste trabalho foi desenvolvida utilizando a ferramenta *Graphic User Interface* do *Matlab*. A aplicação permite ao utilizador inserir os dados da sua habitação e simular os diagramas de consumo de um certo dia do mês escolhido, assim como o diagrama da produção fotovoltaica, da energia da bateria, dos equipamentos selecionados e visualizar o aconselhamento das horas para cada equipamento.

3.4.1 Introdução de dados

A página inicial da aplicação é demonstrada na figura 3.7. No separador Utilizador, figura 3.8, o utilizador preenche os dados da sua habitação e a data que pretende simular. No separador Equipamentos, figura 3.9, é feita a seleção de quais os equipamentos que deseja incluir na simulação.



Figura 3.7 - Página inicial da aplicação desenvolvida.

Figura 3.8 – Separador Utilizador da aplicação desenvolvida.

No separador Utilizador, é inserida a localização da habitação, em coordenadas, o número de residentes, o mês do ano, a data e as características dos painéis. A localização será utilizada na ferramenta *PVGIS*, para adquirir os dados da irradiância que, juntamente com o valor inserido de potência instalada, leva ao cálculo da produção fotovoltaica.

De seguida, caso o utilizador tenha sistema de armazenamento de energia na residência, escolhe qual a capacidade da bateria e a percentagem a que se encontra inicialmente naquele dia. Os valores da capacidade da bateria a escolher são 2,56 kWh, 3,3 kWh, 4 kWh, 5 kWh e 6,5 kWh, que são as baterias mais comuns no mercado atualmente. Foi feita também uma pesquisa

sobre quais as potências de carga nominal destas baterias e estes valores foram incorporados no algoritmo de gestão da bateria.

Por último, as informações relativamente ao número de residentes, mês do ano e dia, junto com os equipamentos selecionados no separador Equipamentos (figura 3.9), serão incorporadas no ficheiro *excel* desenvolvido por *Richardson e Thomson*.

Selecione os equipamentos que pretende utilizar hoje:

Arca Frigorífica
 Aspirador
 Computador
 Ferro de Engomar
 Fogao
 Forno
 Microondas
 Pequenos eletrodomésticos
 Televisao

Máquina de lavar roupa Intervalo de Preferência: Das 0 h às 0 h
Horas a que costuma utilizar: 0 h

Máquina de secar roupa Intervalo de Preferência: Das 0 h às 0 h
Horas a que costuma utilizar: 0 h

Máquina de lavar loiça Intervalo de Preferência: Das 0 h às 0 h
Horas a que costuma utilizar: 0 h

Carregamento Veículo Elétrico Intervalo de Preferência: Das 0 h às 0 h
Horas a que costuma utilizar: 0 h
Estado da bateria: 0

Simular

← Página Inicial Utilizador Equipamentos Fotovoltaico Resultados Diagramas Equip. Acon: →

Figura 3.9 - Separador Equipamentos da aplicação desenvolvida.

No separador Equipamentos, o utilizador seleciona quais os equipamentos que deseja utilizar no dia e, caso escolha a máquina de lavar a roupa, secar, da loiça ou o carregador de veículo elétrico, define qual o intervalo horário de preferência de funcionamento para cada equipamento. No caso do carregamento do VE, escolhe também o estado a que a bateria se encontra, o que vai definir o tempo de carregamento deste equipamento. É de referir ainda que o utilizador pode introduzir as horas a que costuma utilizar o equipamento para poder visualizar a diferença, no separador Resultados, entre a hora que costuma utilizar e a hora que o algoritmo determinará como sendo a melhor. Caso o utilizador deixe este campo em branco, o equipamento será alocado numa hora aleatória dentro do intervalo de preferência.

É neste separador também que o utilizador inicia a simulação, clicando no botão Simular, que fica verde quando a simulação estiver completa. Ao clicar neste botão, a aplicação carregará todas as informações dos equipamentos no ficheiro *excel* e iniciará o algoritmo de alocação de cargas e, caso seja necessário, o algoritmo de gestão de armazenamento de energia, cujos resultados serão mostrados nos separadores descritos nas seguintes subsecções.

3.4.2 Produção fotovoltaica e evolução da bateria

No separador Fotovoltaico, figura 3.10, podem ser consultados o gráfico da potência fotovoltaica e o gráfico da evolução da energia da bateria ao longo do dia.

No exemplo da figura 3.10, está exemplificado a produção fotovoltaica num dia do mês de Agosto, com uma potência instalada de 1650 W, o que corresponde a 3 painéis fotovoltaicos, de 550 W cada. Relativamente ao gráfico da energia disponível na bateria, pode ser observado um exemplo do comportamento de uma bateria de 3,3 kWh, com um SOC inicial de 30%, ao longo de um dia, gerido pelo algoritmo de gestão de armazenamento de energia.

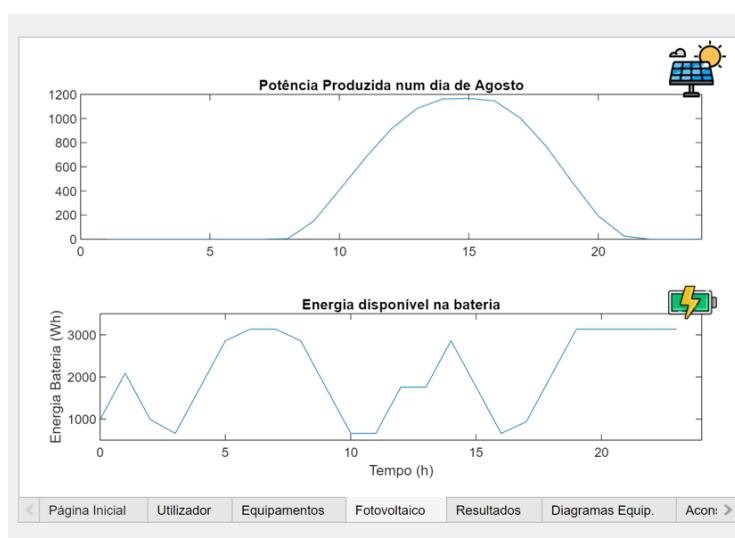


Figura 3.10 - Separador Fotovoltaico da aplicação desenvolvida.

3.4.3 Diagramas do consumo da habitação

No separador Resultados, figura 3.11, é onde o utilizador pode consultar os diagramas de consumo da habitação com e sem otimização.

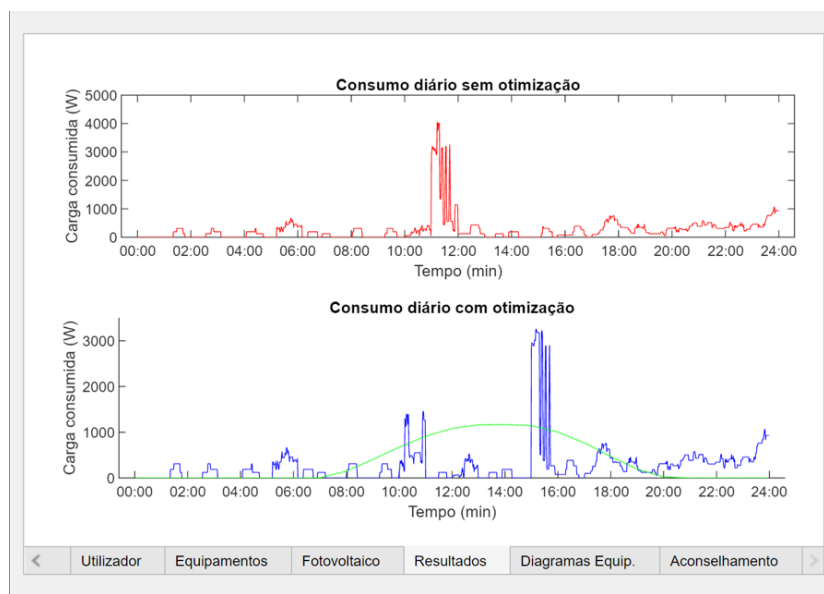


Figura 3.11 - Separador Resultados da aplicação desenvolvida.

Estes diagramas permitem ao utilizador visualizar o comportamento do consumo da sua habitação ao longo do dia e verificar o efeito do algoritmo de alocação de cargas. No exemplo da figura 3.11, pode-se observar que, antes da alocação de cargas, o funcionamento dos equipamentos estava concentrado entre as 11h e as 12h. Após a otimização, os equipamentos foram distribuídos pelo dia, tendo sido alocados para horas em que a produção fotovoltaica satisfaz o consumo ou horas em que seja gasta o menos de energia possível. As horas em que cada equipamento é alocado são mostradas ao utilizador no separador Aconselhamento, que será explicado na subsecção 3.4.5.

3.4.4 Diagramas de funcionamento dos equipamentos

Os diagramas de funcionamento dos equipamentos podem ser observados no separador Diagramas Equip., apresentado na figura 3.12.

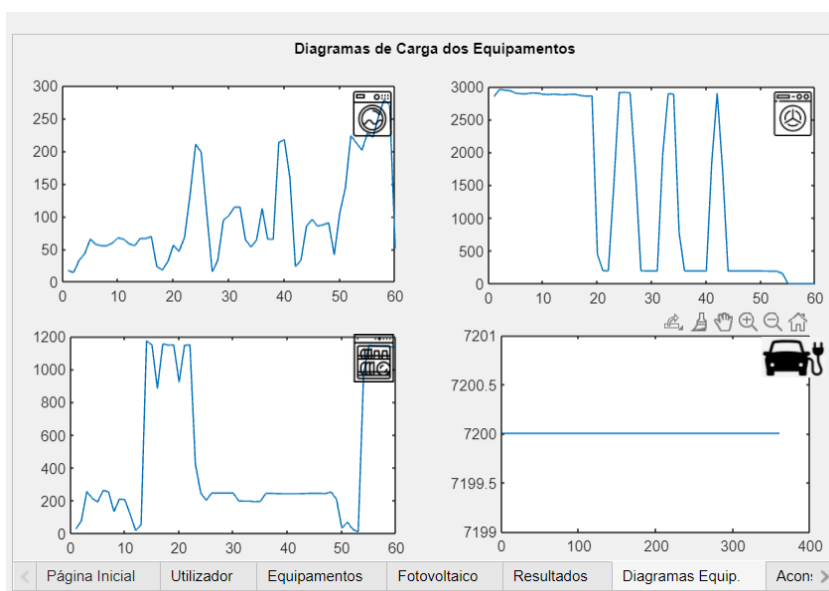


Figura 3.12 - Separador Diagrama Equip. da aplicação desenvolvida.

Como já explicado anteriormente, os diagramas de carga das máquinas de lavar a roupa, secar e da loiça foram retirados de [29], uma vez que os valores que constavam no ficheiro *excel* não funcionavam corretamente nos meses de verão. Estes valores são fixos em todas as simulações e são considerados no consumo da habitação caso o utilizador assim o entenda.

No que diz respeito ao diagrama de carga do carregamento do VE, este é sempre constante, consumindo 7200 W em uma hora. Dependendo da percentagem a que a bateria se encontra inicialmente, o carregamento pode levar entre 1h a 6h, até ficar completamente carregada.

3.4.5 Suporte à decisão

Por último, no separador Aconselhamento, figura 3.13, é onde o utilizador pode visualizar as melhores horas para o funcionamento de cada equipamento.

A hora indicada em cada equipamento é a hora em que o algoritmo de alocação de cargas alocou o funcionamento do equipamento, dentro do intervalo de preferência dado pelo utilizador. Se o algoritmo tiver encontrado uma hora no intervalo em que a produção fotovoltaica satisfaz o consumo da habitação, juntamente com o consumo da máquina em questão, será essa a hora aconselhada. Se não for o caso, a hora aconselhada será aquela em que a diferença entre a produção fotovoltaica com a potência da bateria e a potência consumida será menor.



Figura 3.13 - Separador Aconselhamento da aplicação desenvolvida.

RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados de várias simulações da aplicação desenvolvida neste trabalho. Serão considerados cenários de habitações com e sem sistemas de armazenamento de energia, para um mês de inverno e um mês de verão, com os parâmetros definidos na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Parâmetros utilizados em todas as simulações.

Parâmetros	Valores
Latitude	37.75
Longitude	-25.65
Número de residentes	4
Dia	Fim de semana
Potência instalada	2750 W

4.1 Simulações sem sistema de armazenamento de energia

Neste subcapítulo, serão feitas simulações para um mês de inverno, um mês de verão, para uma habitação sem sistema de armazenamento de energia.

4.1.1 Cenário 1

Para esta simulação foi escolhido como mês de Inverno o mês de Fevereiro e com todos os equipamentos selecionados a várias horas do dia, como mostra a figura 4.1. Foi também definido que a bateria do VE encontrava-se a 50% da sua capacidade à hora do carregamento.

Figura 4.1 - Parâmetros de simulação para o mês de Fevereiro, sem bateria.

Após clicar no botão de simulação, na figura 4.2, pode ser observada a potência fotovoltaica produzida num dia de Fevereiro e os diagramas de carga dos equipamentos, onde mostra que a duração do carregamento do VE foi de 3 horas.

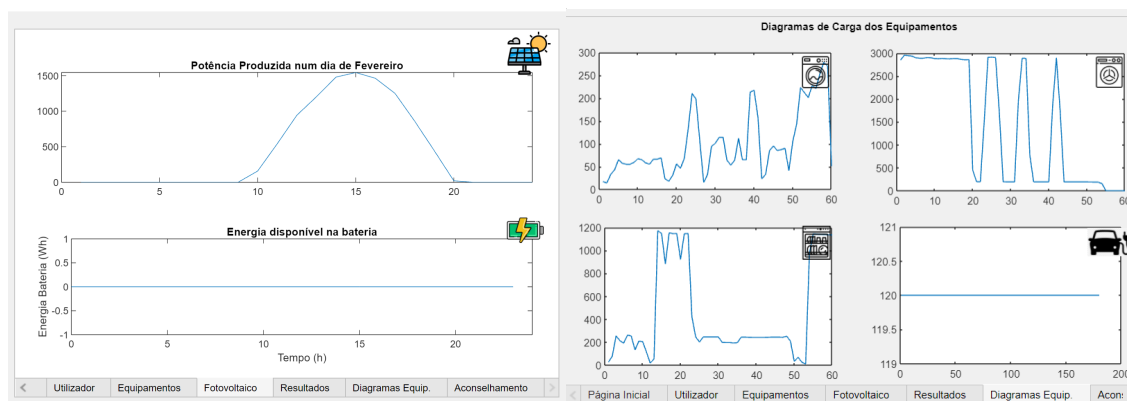


Figura 4.2 - Produção fotovoltaica e diagramas dos equipamentos da simulação no mês de Fevereiro, sem bateria.

Na figura 4.3, pode ser observado o resultado do algoritmo de alocação de cargas.

No gráfico do consumo diário sem otimização, os equipamentos encontram-se alocados à hora que o utilizador os costuma usar, como mostra a figura 4.1.

No gráfico do consumo diário com otimização, está o resultado do algoritmo de alocação de cargas onde as máquinas de lavar a roupa e a loiça foram alocadas para a hora onde a produção fotovoltaica satisfazia o consumo. Contudo, a máquina de secar foi alocada para a hora onde a diferença entre a produção e o consumo era maior, ficando a funcionar às 15h. Já o carregamento do veículo elétrico ficou alocado às 19h, dado que o seu intervalo de preferência não tinha produção fotovoltaica.

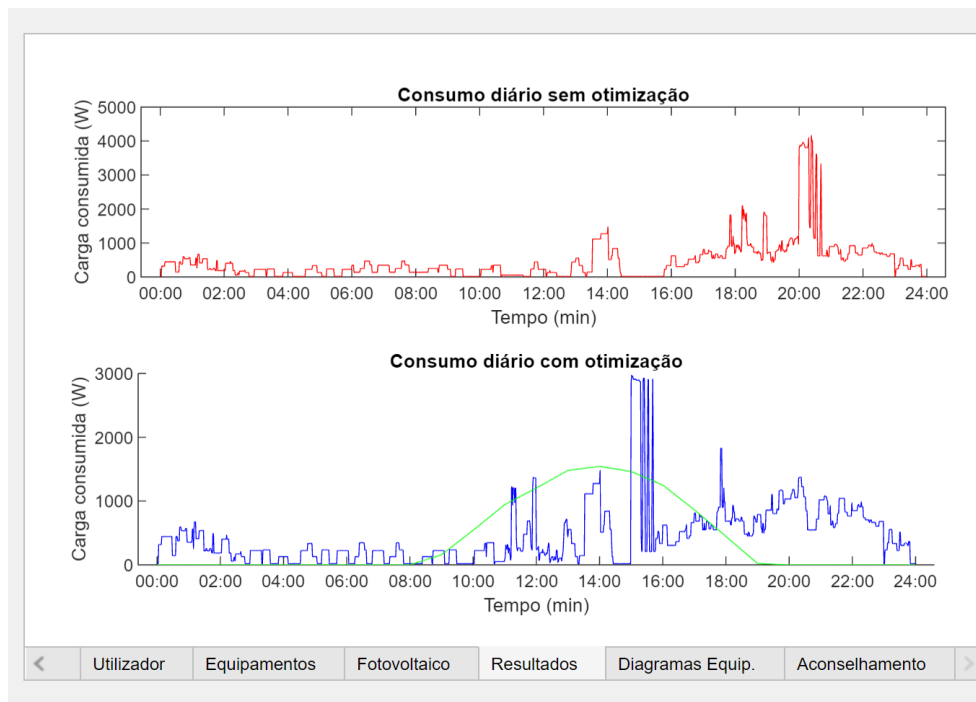


Figura 4.3 - Resultados da simulação do cenário 1, no mês de Fevereiro, sem bateria.

Por fim, no separador Aconselhamento, figura 4.4, constam as horas a que cada equipamento ficou alocado, com o algoritmo de alocação de cargas.



Figura 4.4 – Suporte à decisão das horas dos equipamentos no cenário no mês de Fevereiro, sem bateria.

4.1.2 Cenário 2: Mês de Verão

Para esta simulação foi escolhido o mês de Julho, com os parâmetros já estabelecidos na tabela 4.1, e com todos os equipamentos selecionados a várias horas do dia, como mostra a figura 4.2. Foi também definido que a bateria do VE encontrava-se a 0% da sua capacidade à hora do carregamento.

The screenshot displays the simulation software interface. On the left, the 'Preencha os seus dados' (Fill in your data) section includes: 'Informação da habitação' (Latitude: 37.75, Longitude: -25.65, Residents: 4), 'Data' (Month: Julho, Day: 1, Day of Week: Fim de Semana), and 'Características dos Painéis' (Installed Power: 2750 W, Battery: Não). On the right, the 'Selecione os equipamentos que pretende utilizar hoje:' (Select the equipment you want to use today) section lists various appliances with checkboxes: Arca Frigorífica, Aspirador, Computador, Ferro de Engomar, Fogao, Forno, Microondas, Pequenos eletrodomésticos, and Televisao. Below this, there are three 'Intervalo de Preferência' (Preference Interval) settings for: Máquina de lavar roupa (6h to 20h), Máquina de secar roupa (7h to 19h), and Máquina de lavar loiça (20h to 23h). A 'Carregamento Veículo Elétrico' (Electric Vehicle Charging) option is also present with a preference interval of 10h to 22h and a battery state of 0%. A 'Simular' (Simulate) button is at the bottom right.

Figura 4.5 - Parâmetros da simulação do mês de Julho, sem bateria.

Os diagramas da produção fotovoltaica e dos equipamentos encontram-se na figura 4.6, e pode ser observado que a duração do carregamento do VE foi de 6 horas, uma vez que a bateria se encontrava completamente descarregada.

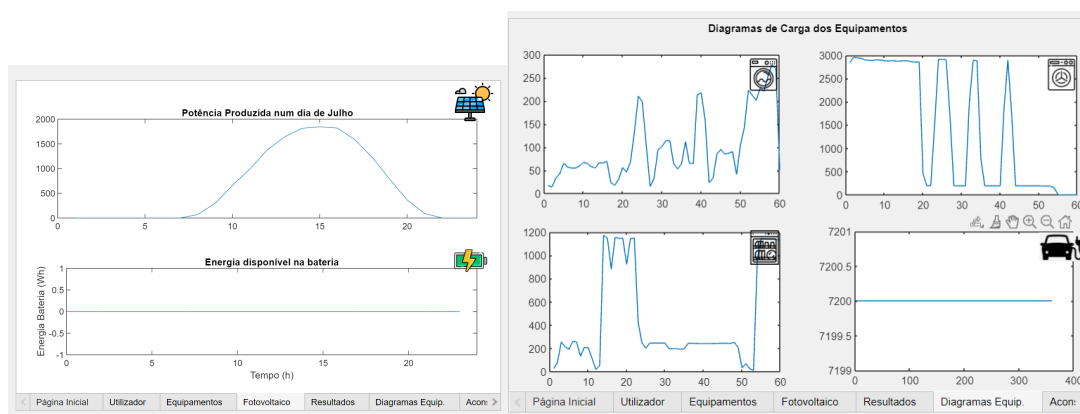


Figura 4.6 - Produção fotovoltaica e diagramas dos equipamentos da simulação no mês de Julho, sem bateria.

Na figura 4.7, encontram-se os diagramas de consumo da habitação. Nesta simulação, no diagrama de consumo sem otimização, os equipamentos foram alocados aleatoriamente no intervalo dado pelo utilizador, uma vez que não colocou as horas a que costuma utilizá-los.

No diagrama de consumo com otimização, a máquina de lavar a roupa e o carregamento do VE foram alocados para as horas onde a produção satisfaz o consumo destes

equipamentos. Por outro lado, a máquina de secar a roupa foi alocada para a hora onde a diferença entre a produção e o consumo é maior, para as 14h, e o mesmo se verificou com a máquina de lavar a loiça, que foi alocada para as 20h, uma vez que o algoritmo não encontrou uma hora em que a produção fotovoltaica cobrisse o consumo destes equipamentos, no intervalo dado.

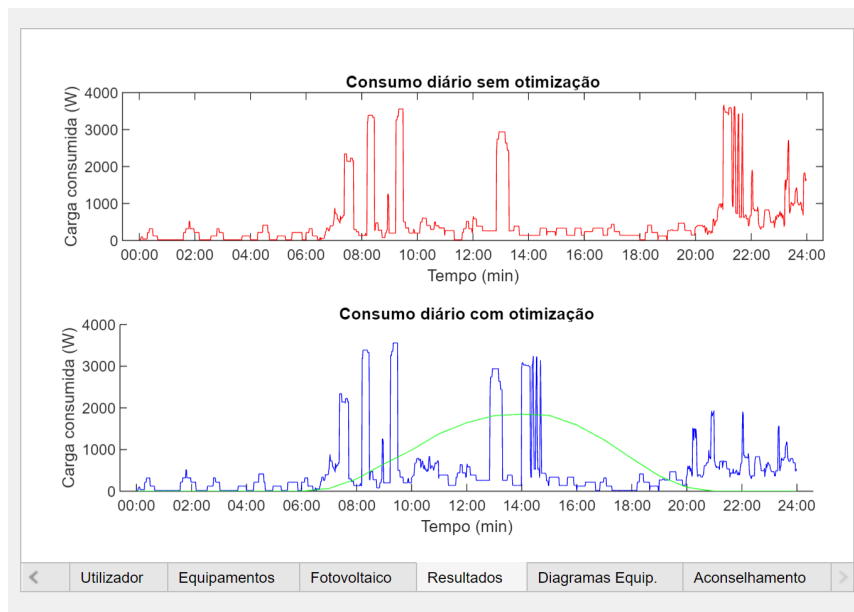


Figura 4.7 - Resultados da simulação do Cenário 2.

Na figura 4.8, pode ser observado o suporte à decisão das melhores horas para utilizar cada equipamento, de acordo com o algoritmo de alocação de cargas.



Figura 4.8 – Suporte à decisão das horas dos equipamentos no cenário 2.

4.2 Simulações com sistema de armazenamento de energia

Neste subcapítulo, serão feitas simulações para um mês de inverno e um mês de verão para uma habitação com sistema de armazenamento de energia.

4.2.1 Cenário 3: Mês de Inverno

Para esta simulação, introduziu-se uma bateria com capacidade de 3,3 kWh, para o mês de Fevereiro e com todos os equipamentos seleccionados a várias horas do dia, como mostra a figura 4.9. Foi também definido que a bateria do VE encontrava-se a 50% da sua capacidade à hora do carregamento.

The screenshot displays two main panels in a software interface. The left panel, titled "Preencha os seus dados", contains input fields for "Informação da habitação" (Latitude: 37.75, Longitude: -25.65, Residents: 4) and "Data" (Month: Fevereiro, Day: 1). Below this is the "Características dos Painéis" section with "Potência Instalada" set to 2750 W and "Capacidade da bateria" set to 3.3 kWh. The right panel, titled "Selecione os equipamentos que pretende utilizar hoje:", lists various appliances with checkboxes: Arca Frigorífica, Aspirador, Computador, Ferro de Engomar, Fogão, Forno, Microondas, Pequenos eletrodomésticos, and Televisão. To the right of these are "Intervalo de Preferência" settings for each appliance, such as "Máquina de lavar roupa" from 12h to 20h. At the bottom right, a red "Simular" button is visible.

Figura 4.9 - Parâmetros da simulação do mês de Fevereiro, com bateria.

Na figura 4.10, pode ser observada a potência fotovoltaica num dia de Fevereiro e a evolução da energia na bateria ao longo do dia, tendo iniciado com um SoC de 30%.

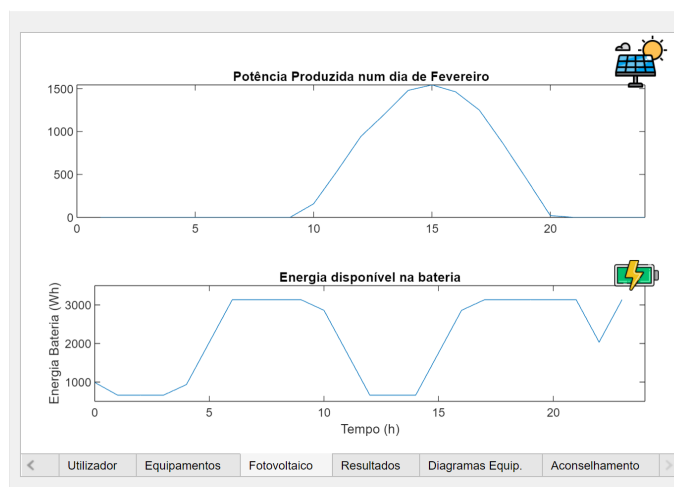


Figura 4.10 – Produção fotovoltaica e evolução da energia da bateria na simulação no mês de Fevereiro, com bateria.

Os resultados desta simulação encontram-se nas figura 4.11 e 4.12.

No gráfico de consumo da habitação sem otimização, os equipamentos foram alocados às horas que o utilizador os costuma usar. Após o algoritmo de alocação de cargas, pode-se observar que a máquina de lavar a loiça foi alocada para a hora em que a produção satisfazia o consumo. Já as máquinas de lavar e secar a roupa, foram alocadas para a hora onde a diferença entre a produção e o consumo era maior. O impacto da bateria é visível na alocação da hora do carregamento do VE, uma vez que o intervalo dado era das 19h às 23h e este ficou alocado para as 22h, a hora onde o consumo era menor e a bateria tinha capacidade para auxiliar no consumo.

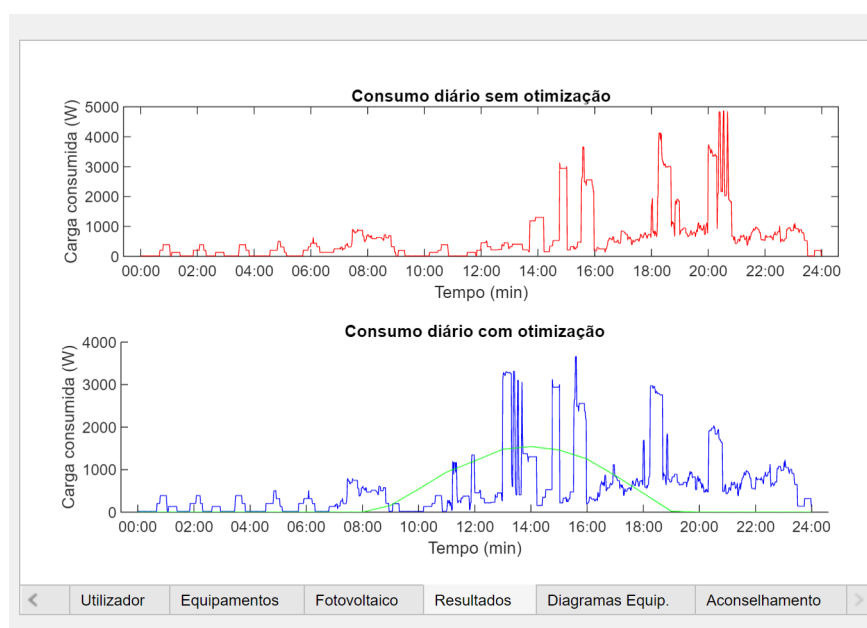


Figura 4.11 - Resultados da simulação do cenário 3.



Figura 4.12 – Suporte à decisão das horas dos equipamentos no cenário 3.

4.2.2 Cenário 4: Mês de verão

Para esta simulação, introduziu-se uma bateria com capacidade de 3,3 kWh, para o mês de Julho e com todos os equipamentos seleccionados a várias horas do dia, como mostra a figura 4.13. Foi também definido que a bateria do VE encontrava-se a 0% da sua capacidade à hora do carregamento.

The screenshot displays the software interface for configuring a simulation. It is divided into two main sections: 'Preencha os seus dados' (Fill in your data) and 'Selecione os equipamentos que pretende utilizar hoje:' (Select the equipment you want to use today:).

Preencha os seus dados:

- Informação da habitação:** Latitude (37.75), Longitude (-25.65), Residentes (4).
- Data:** Mes do ano (Julho), Dia do mes (1), Dia de Semana (Fim de Semana).
- Características dos Painéis:** Potência Instalada (2750 W), Capacidade da bateria (3.3 kWh), Tem bateria? (Sim), Percentagem da bateria inicial (50 %).

Selecione os equipamentos que pretende utilizar hoje:

- Equipamentos selecionados:** Arca Frigorífica, Aspirador, Computador, Ferro de Engomar, Fogao, Forno, Microondas, Pequenos eletrodomésticos, Televisao.
- Intervalo de Preferência (com horas de utilização):**
 - Máquina de lavar roupa: Das 6 h às 20 h
 - Máquina de secar roupa: Das 7 h às 19 h
 - Máquina de lavar loiça: Das 20 h às 23 h
 - Carregamento Veículo Elétrico: Das 10 h às 22 h

A 'Simular' button is visible at the bottom right of the equipment selection panel.

Figura 4.13 - Parâmetros da simulação do mês de Julho, com bateria.

Na figura 4.14, pode ser observada a potência fotovoltaica num dia de Julho e a evolução da energia na bateria ao longo do dia, tendo iniciado com um SoC de 50%.

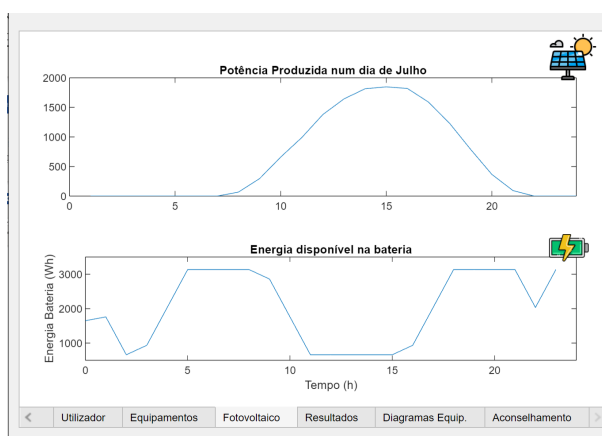


Figura 4.14 - Produção fotovoltaica e evolução da energia da bateria na simulação no mês de Julho, com bateria.

Na figura 4.15, encontram-se os resultados desta simulação. No gráfico sem alocação de cargas, os equipamentos encontram-se a funcionar a horas aleatórias, dentro do intervalo dado, porque o utilizador não indicou as horas a que os costuma utilizar.

Já no gráfico com alocação de cargas, podemos observar que a máquina de lavar a roupa e o carregamento do VE foram alocados para as 10h e 16h, respetivamente, que são as horas onde a produção fotovoltaica cobre os consumos destes equipamentos. Já a máquina de secar a roupa foi alocada para a hora onde a diferença entre a produção e o consumo é maior, no intervalo dado, para as 15h. Por fim, a máquina de lavar a loiça ficou a funcionar às 22h, hora onde o consumo da habitação era menor, juntamente com a energia que se encontrava na bateria.

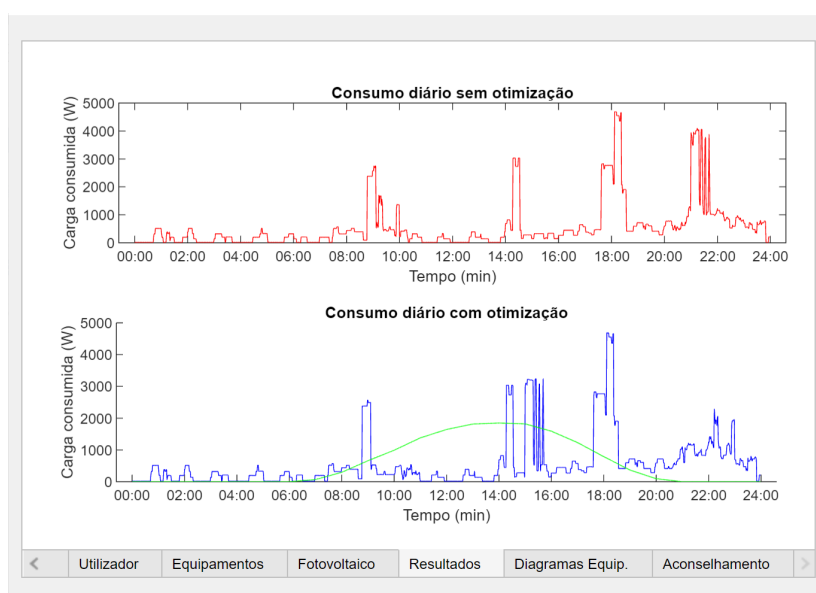


Figura 4.15 – Resultados da simulação do cenário 4.

Na figura 4.16, constam as horas a que cada equipamento ficou alocado, isto é, as horas aconselhadas para o funcionamento de cada máquina.



Figura 4.16 – Suporte à decisão das horas dos equipamentos no cenário 4.

4.3 Comparação dos resultados

Nesta subsecção será feita uma comparação dos resultados obtidos nos cenários 1, 2, 3 e 4 e retiradas algumas conclusões.

Na tabela 4.2, consta o resumo dos resultados da alocação de cargas nos cenário de Inverno.

Nos cenário 1 e 3, as máquinas de lavar a roupa e a loiça foram alocadas para as horas onde a produção fotovoltaica satisfazia os seus consumos.

Já a máquina de secar a roupa, como tem um consumo elevado, em nenhuma hora a produção fotovoltaica cobria o consumo deste equipamento. Desta forma, no cenário 1, foi alocada para a hora onde a diferença entre a produção e o consumo era maior. No cenário 3, é visível o impacto da bateria, uma vez que foi alocada para uma hora onde a diferença entre a produção fotovoltaica com a energia na bateria e o consumo era maior.

O impacto da bateria é também notório na alocação do carregamento do veículo elétrico, que foi propositadamente alocado para um intervalo horário sem exposição solar. No cenário 1, ficou alocado para a hora onde a diferença entre a produção e o consumo era maior, uma vez que não tinha bateria instalada, o que resultou na primeira hora do intervalo, dado que não havia produção. No cenário 3, ficou alocada para a hora onde a bateria tinha mais energia, para minimizar a quantidade de energia pedida à rede.

Tabela 4.2 – Comparação de resultados nos cenários de Inverno.

	Intervalo dado	Cenário 1 (sem bat)	Cenário 3 (com bat)
Máquina de lavar a roupa	12h-20h	12h	16h
Máquina de secar a roupa	12h-20h	15h	13h
Máquina de lavar a loiça	6h-14h	11h	11h
Carregamento do VE	19h-23h	19h	22h

Na tabela 4.3, está o resumo dos resultados da alocação de cargas nos cenário de Verão.

Nos cenário 2 e 4, a máquina de lavar a roupa e o carregamento do veículo elétrico foram alocados para as horas onde a produção fotovoltaica satisfazia os seus consumos.

Por outro lado, a máquina de secar a roupa, no cenário 2, foi alocada para a hora onde a diferença entre a produção e o consumo era maior. No cenário 4, é visível o impacto da bateria, uma vez que foi alocada para uma hora onde a diferença entre a produção fotovoltaica com a energia na bateria e o consumo era maior.

Por fim, a máquina de lavar loiça, que foi alocada para uma hora com menor exposição solar, no cenário 2, ficou alocado para a hora onde a diferença entre a produção e o consumo era maior, dado que não tinha bateria instalada, o que resultou na primeira hora do intervalo,

20h, que ainda tinha uma pequena produção fotovoltaica. No cenário 4, ficou alocada para a hora onde a bateria tinha mais energia, para minimizar a quantidade de energia pedida à rede.

Tabela 4.3 - Comparação de resultados nos cenários de Verão.

	Intervalo dado	Cenário 2 (sem bat)	Cenário 4 (com bat)
Máquina de lavar a roupa	6h-20h	10h	10h
Máquina de secar a roupa	7h-19h	14h	15h
Máquina de lavar a loiça	20h-23h	20h	22h
Carregamento do VE	10h-22h	10h	16h

Comparando estes resultados, pode-se concluir que um cenário em que exista um sistema de armazenamento de energia será sempre vantajoso, a nível energético, pois irá diminuir a energia pedida à rede, tanto durante o dia como durante a noite. Verifica-se também que tirar o máximo proveito da produção fotovoltaica e alocar os equipamentos de acordo com a produção fotovoltaica é o mais favorável para diminuir a energia dispensada de uma habitação. Contudo, há equipamentos que têm consumos elevados e que não conseguem ser satisfeitos apenas pela produção fotovoltaica e/ou a energia armazenada na bateria pelo que é necessário alocá-los em horas estratégicas, como este algoritmo o faz, nomeadamente em horas onde será pedida o mínimo de energia à rede.

CONCLUSÕES

Neste último capítulo, são apresentadas as conclusões retiradas do trabalho realizado e são apresentadas possíveis melhorias para aumentar a utilidade da ferramenta desenvolvida.

5.1 Considerações finais

O principal objetivo desta dissertação era desenvolver uma plataforma de gestão de consumo, para que o utilizador consiga reduzir a energia consumida na sua habitação.

O primeiro passo foi recolher informação necessária ao funcionamento da aplicação. Para construir os perfis de produção fotovoltaica, foi escolhido um modelo de painel fotovoltaico [28] e utilizada a ferramenta *PVGIS* para obter a irradiância numa certa localização. De seguida, para os diagramas de consumo de uma habitação, foi utilizada a ferramenta de *Richardson e Thomson* [27] e os diagramas das máquinas de lavar, secar e da loiça foram retirados de [29] e o carregamento do veículo elétrico de [30].

Para desenvolver o programa, escolheu-se a plataforma *Matlab*, uma vez que permite facilmente a ligação entre bases de dados e a sua manipulação. Para implementar o algoritmo de alocação de cargas, foi feita uma pesquisa na literatura e desenvolveu-se uma versão baseada em [31] e escolheu-se aplicar o algoritmo aos equipamentos com o maior consumo na habitação. Por último, para a implementação do algoritmo de gestão de armazenamento de energia, foi utilizada uma versão de [32] e, uma vez que este algoritmo requer uma variável de preços, escolheu-se utilizar uma matriz com o preço diário da eletricidade de 2022, retirado de [33].

Após a definição de todas as variáveis e algoritmos necessários, procedeu-se ao desenvolvimento da parte gráfica do programa, utilizando a ferramenta *App Designer* do *Matlab*. A aplicação permite ao utilizador realizar várias simulações para a sua habitação, podendo visualizar a produção fotovoltaica no dia escolhido, a evolução da energia da bateria, os diagramas de carga dos equipamentos, os diagramas de carga do consumo diário da residência e, por fim, o suporte à decisão das horas para cada máquina.

O funcionamento da aplicação para o utilizador é bastante simples. No separador Utilizador, são inseridas as informações relativas à habitação, isto é, a localização, a data, o número de residentes, a potência de painéis instalada e a bateria. De seguida, no separador Equipamentos, são selecionados os equipamentos a utilizar e, caso sejam selecionados as máquinas de lavar, secar a roupa, lavar a loiça ou o carregador de VE, são inseridos os intervalos de preferência da utilização destas máquinas e, opcionalmente, a hora a que normalmente os

utiliza. Os resultados da simulação são apresentados nos separadores Fotovoltaico, Resultados, Diagramas Equip. e Aconselhamento.

No capítulo 4 desta dissertação, foram apresentados alguns cenários de simulação da aplicação. Foram feitas simulações num mês de inverno e num mês de verão, com e sem sistema de armazenamento de energia. Nestas simulações, foi possível visualizar o impacto do algoritmo de alocação de cargas, que aloca o funcionamento dos equipamentos, dentro do intervalo de preferência, na hora onde a produção fotovoltaica satisfaz o consumo. Caso não seja possível, se o utilizador tiver uma bateria instalada, o algoritmo aloca para a hora onde a diferença entre a produção com a energia da bateria e o consumo for maior. Se o utilizador não tiver bateria instalada, o funcionamento do equipamento é alocado para a hora onde a diferença entre a produção e o consumo for maior.

Com os resultados obtidos, pode-se deduzir que ter um sistema de armazenamento de energia será benéfico para diminuir a quantidade de energia consumida numa habitação, especialmente se o utilizador pretender usar equipamentos em horas onde a produção fotovoltaica é nula. Contudo, o ideal para poupar o máximo de energia numa residência, é alocar os equipamentos para quando a produção fotovoltaica satisfaz o seu consumo, com o auxílio de um algoritmo de alocação de cargas.

Concluindo, considera-se que os objetivos propostos para esta dissertação foram cumpridos e os resultados obtidos foram os esperados. A aplicação desenvolvida é de fácil utilização e permite ao utilizador diminuir o seu gasto energético, caso siga o suporte à decisão dado pela plataforma.

5.2 Trabalhos futuros

Nesta aplicação, foram considerados equipamentos de marca e modelo fixos. Para tornar a aplicação desenvolvida mais personalizada ao utilizador, sugeria-se criar uma base de dados com equipamentos de várias marcas e modelos, em que o utilizador seleciona o modelo que tem na sua habitação, para que o diagrama de consumo do equipamento em questão seja mais fiel à realidade. O mesmo raciocínio se aplica aos modelos de painel fotovoltaico e bateria utilizados, que são fixos, e poderiam ser personalizados a cada utilizador.

Em adição, o algoritmo de alocação de cargas desenvolvido só aloca os equipamentos de maior consumo na habitação e os considerados foram as máquinas de lavar e secar a roupa, lavar a loiça e o carregador de veículo elétrico. Seria interessante adicionar mais equipamentos alocáveis, como uma bomba de calor ou um esquentador.

Ainda, o algoritmo de gestão de armazenamento de energia utilizado é uma das versões mais simplificadas na literatura, poderia ser utilizado um algoritmo que tenha em consideração a eficiência de carregamento e descarregamento da bateria, que coloque uma potência máximo de consumo e que não permita que a bateria seja carregada pela rede.

Para além disto, a aplicação desenvolvida não considera custos de equipamentos nem de eletricidade, num trabalho futuro, poderia ser implementado no algoritmo de alocação de

cargas o preço diário da eletricidade e alocar as cargas conforme a hora mais barata para a utilização de energia.

Por último, a utilização da aplicação encontra-se restringida ao *Matlab*, e para que tenha maior utilidade na vida real, poderia ser desenvolvida para uma aplicação móvel ou, em *html*, para um *site*.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Cummins, Inc. – What are distributed energy resources and how do they work [online]. <https://www.cummins.com/news/2021/11/04/what-are-distributed-energy-resources-and-how-do-they-work> [Acedido: 01/2022]
- [2] Muhki, v. (2018). The customer experience matters: utilities and distributed energy resources. *Cutter Business Technology Journal*, 31(5), 33–38. <https://www.cutter.com/sites/default/files/itjournal/2018/cbtj1805c.pdf> (Acedido: 01/2022)
- [3] Ochoa, L. N., & Mancarella, P. (2021). Bottom-up Flexibility: Flexibility from the edge of the grid [guest editorial]. *IEEE power and energy magazine*, 19(4), 14–103. <https://doi.org/10.1109/mpe.2021.3072785>
- [4] S.O. Jensen, A. J. Marszal-Pomianowska, “Iea Ebc annex 67 energy flexible buildings”, *Clima 2016 – proceedings of the 12th Rehva Wordl Congress*, vol. 10, 2016, http://vbn.aau.dk/files/233817779/paper_325.pdf
- [5] R. G. Junker et al., “Characterizing the Energy Flexibility of Buildings and Districts”, *Applied Energy*, vol. 255, pp. 175-182, sep. 2018. doi: 10.1016/j.apenergy.2018.05.03
- [6] V. Mehr, S. Kahrobaee and M. Avendano, "Harnessing the full potential of clean energy: the role of southern California's utility distributed energy re-source pilots," in *IEEE power and energy magazine*, vol. 19, no. 4, pp. 28-40, july-aug. 2021, doi: 10.1109/mpe.2021.3072816.
- [7] Aelenei, Daniel – Flexibilidade, a evolução natural dos NZEB [online], <https://docentes.fct.unl.pt/aelenei/links/flexibilidade-evolucao-natural-dos-nzeb-edificios-e-energia> [acedido: 02/2022]
- [8] Li, R., Dane, G., Finck, C., & Zeiler, W. (2017). Are building users prepared for energy flexible buildings? —A large-scale survey in the Netherlands. *Applied energy*, 203, 623–634. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.067>
- [9] New R&D – Projeto Sensible [online], https://rd-new.com/pt-pt/portfolio_page/sensible/ [acedido: 01/2022]

- [10] EDP – notícias EDP [online]. <https://www.edp.com/pt-pt/noticias/2018/07/03/projeto-sensibile-permite-poupanca-de-300-euros-por-ano-na-eletricidade> [acedido: 01/2022]
- [11] Sensible – Power Grid Architecture [online], <https://www.projectsensible.eu/demonstrators/evora/> [acedido 01/2022]
- [12] M. V. Moreno et al., “How can we tackle energy efficiency in IOT based smart buildings?”, *sensors*, vol. 14, pp. 9582-9614, may 2014. doi:10.3390/s14069582
- [13] Dudek, E. (2021). The Flexibility of domestic electric vehicle charging: The Electric Nation Project. *IEEE Power and Energy magazine*, 19(4), 16–27. <https://doi.org/10.1109/mpe.2021.3072714>
- [14] “Summary Report,” EA Technology (for western power distribution), Chester, U.K, oct. 2019. accessed: may 2021. [online]. available: <https://www.eatechnology.com/wp-content/uploads/2020/06/electric-nation-report.pdf> (acedido: 02/2022)
- [15] Mercure, M. (2020, july 29). Opus One Solutions deploys energy management software at SCE. *Solar Industry*. <https://solarindustrymag.com/opus-one-solutions-deploys-energy-management-software-at-sce> (acedido: 02/2022)
- [16] J. M. Joakim Widén, “Evaluating the benefits of a solar home energy management system: impacts on photovoltaic power production value and grid interaction,” in *ecee 2013 summer study*, presqu’île de giens, france, june 3-8, 2013.
- [17] Electric Kiwi, <https://electrickiwi.co.nz/>, acedido em 14/07/2023
- [18] I. Richardson, M. Thomson, D. Infield e C. Clifford. “Domestic electricity use: a high-resolution energy demand model”. em: *energy and buildings* 42 (out. de 2010), pp. 1878–1887. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.05.023.
- [19] Redback Energy, <https://redbacktech.com>, acedido em 14/07/2023
- [20] Greenely, <https://greenely.com/en/electric-car-charging/>, acedido em 14/07/2023
- [21] Fresh Energy, <https://fresh-energy.org>, acedido em 14/07/2023
- [22] Curb Energy, <https://www.poweredbyelevation.com/curb-energy-monitoring>, acedido em 14/07/2023
- [23] Cside, https://cside.pt/pt/applications/aplicações/#electricity_management, acedido em 14/07/2023
- [24] Edp re:dy, <https://www.edp.com/pt-pt/inovacao/redy>, acedido em 14/07/2023

- [25] Smappee, <https://www.smappee.com>, acessado em 14/07/2023
- [26] Easy Optimize, <https://www.crunchbase.com/organization/easyoptimize-gmbh>, acessado em 14/07/2023
- [27] I. Richardson and M. Thomson, "Domestic Electricity Demand Model - simulation example," 2010.
- [28] Painel JA solar 550W JAM72S30 MR, <https://suministrosdelsol.com/pt/paineis-de-460-a-700w/1205-painel-solar-ja-solar-550w-jam72s30-550-mr-mono-perc.html>, acessado em 1/08/2023
- [29] M. Pipattanasomporn et al., "Load profiles of selected major household appliances and their demand response opportunities," *IEEE transactions on smart grid*, vol. 5, p. 742-750, mar 2014, doi: 10.1109/tsg.2013.2268664.
- [30] Å.L. Sørensen, K.B. Lindberg, I. Sartori, I. Andresen, Analysis of residential EV energy flexibility potential based on real-world charging reports and smart meter data, *energy and buildings*, volume 241, 2021, 110923, issn 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110923>.
- [31] Lavrik, A.; Zhukovskiy, Y.; Tsvetkov, P. Optimizing the size of autonomous hybrid microgrids with regard to load shifting. *energies* 2021, 14, 5059. <https://doi.org/10.3390/en14165059>
- [32] D. M. Rosewater, D. A. Copp, T. A. Nguyen, R. H. Byrne e S. Santoso. "Battery energy storage models for optimal control". *IEEE access* 7 (2019), pp. 178357–178391, doi: 10.1109/access.2019.2957698.
- [33] Relatório anual OMIE, <https://www.omie.es/pt/publicacoes/relatorio-anual>, acessado em 4/09/2023

APÊNDICE

A.1 Diagrama de carga do carregamento do VE

60x1 double	
1	
1	120
2	120
3	120
4	120
5	120
6	120
7	120
8	120
9	120
10	120
11	120
12	120
13	120
14	120
15	120
16	120
17	120
18	120
19	120
20	120
21	120
22	120
23	120
24	120
25	120
26	120
27	120
28	120
29	120
30	120
31	120
32	120
33	120
34	120
35	120
36	120
37	120
38	120
39	120
40	120
41	120
42	120
43	120
44	120
45	120
46	120
47	120
48	120
49	120
50	120
51	120
52	120
53	120
54	120
55	120
56	120
57	120
58	120
59	120
60	120

Figura A.1 – Valores utilizados no diagrama de carga do carregamento do VE em Watt. [30]

A.2 Diagrama de carga da máquina de lavar a roupa

60x1 double	
1	
1	17
2	14
3	33
4	43
5	65
6	57
7	55
8	55
9	59
10	67
11	65
12	58
13	55
14	66
15	66
16	69
17	23
18	18
19	31
20	56
21	46
22	68
23	133
24	210
25	198
26	105
27	15
28	33
29	94
30	101
31	114
32	114
33	64
34	53
35	64
36	112
37	65
38	65
39	213
40	217
41	159
42	23
43	33
44	85
45	95
46	85
47	87
48	90
49	41
50	105
51	143
52	223
53	212
54	201
55	227
56	221
57	253
58	278
59	270
60	51

Figura A.2 - Valores utilizados no diagrama de carga da máquina de lavar a roupa [29], em Watt.

A.3 Diagrama de carga da máquina de secar a roupa

60x1 double	
1	
1	2846
2	2951
3	2944
4	2933
5	2897
6	2888
7	2888
8	2901
9	2897
10	2880
11	2876
12	2883
13	2875
14	2873
15	2881
16	2878
17	2860
18	2852
19	2856
20	446
21	197
22	197
23	1483
24	2905
25	2909
26	2902
27	1683
28	194
29	193
30	193
31	193
32	1970
33	2889
34	2884
35	782
36	191
37	192
38	192
39	192
40	193
41	1849
42	2898
43	1714
44	193
45	192
46	193
47	192
48	193
49	192
50	192
51	190
52	189
53	189
54	152
55	2
56	2
57	2
58	2
59	2
60	0

Figura A.3 - Valores utilizados no diagrama de carga da máquina de secar [29], em Watt.

A.4 Diagrama de carga da máquina de lavar a loiça

60x1 double	
1	
1	27
2	78
3	256
4	214
5	191
6	262
7	254
8	133
9	209
10	206
11	116
12	18
13	53
14	1172
15	1147
16	882
17	1153
18	1146
19	1147
20	922
21	1145
22	1147
23	422
24	246
25	202
26	246
27	246
28	246
29	246
30	246
31	198
32	197
33	197
34	193
35	196
36	244
37	244
38	243
39	242
40	242
41	242
42	242
43	243
44	244
45	244
46	244
47	243
48	253
49	208
50	33
51	69
52	26
53	10
54	975
55	1144
56	1141
57	1139
58	1138
59	1136
60	1135

Figura A.4 - Valores utilizados no diagrama de carga da máquina de lavar a loiça [29] em Watt.



Ana Moniz

PLATAFORMA DE GESTÃO DE ENERGIA DE UM EDIFÍCIO