

iscte

INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Domótica para consciência energética e ambiental

António Pedro Marcelino Paixão

Mestrado em Gestão de Sistemas de Informação

Orientador:

Doutor Nuno Manuel Guimarães, Professor Catedrático,
ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa

Novembro, 2022



TECNOLOGIAS
E ARQUITETURA

Departamento de Ciências e Tecnologias de Informação

Domótica para consciência energética e ambiental

António Pedro Marcelino Paixão

Mestrado em Gestão de Sistemas de Informação

Orientador:

Doutor Nuno Manuel Guimarães, Professor Catedrático,
ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa

Novembro, 2022

Direitos de cópia ou Copyright

©Copyright: António Pedro Marcelino Paixão.

O Iscte - Instituto Universitário de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o 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.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor Nuno Manuel Guimarães, agradeço toda a sua orientação e a escolha das palavras certas nos momentos certos para impulsionar o esforço necessário para a concretização deste trabalho.

Aos meus pais, Alberto e Vitória, pelos fundamentos passados que me levaram a abraçar este desafio e a ter a resiliência necessária para o concluir.

À minha mulher, Susana, pelo apoio incondicional durante este período e ao meu filho Afonso por abdicar de grande parte do tempo de brincadeiras com o pai nesta sua fase infantil.

Aos meus colegas e amigos Fernando C., David M. e André D., que me dedicaram o seu tempo pessoal e ajuda no desenvolvimento de alguns conteúdos importantes para o resultado final.

A todos os que enumerei o meu sincero “Muito Obrigado”.

Resumo

Vivemos num período de transição energética, que pretende acelerar a migração da procura de combustíveis fósseis para soluções de energia de menor intensidade carbónica. Neste contexto, umas das melhores soluções disponíveis para o sector de consumo residencial são as fontes de energia solar fotovoltaicas.

Por outro lado, assistimos à exponencialmente crescente utilização da IoT (*Internet of Things*) na indústria, mas também na vertente doméstica (denominada casa inteligente), que permite aliar a automatização da residência com a microprodução de energia elétrica, reduzindo o consumo de forma geral, com menos perdas e desperdícios, mas também procurando otimizar a forma como se consome energia, potenciando as fontes de energias limpas.

Foi efetuada uma revisão da literatura na busca por informação relacionada com a domótica e as implementações já efetuadas noutras realidades com o objetivo de evidenciar de que forma se pode aumentar a consciência energética e ambiental, assim como o potencial das energias renováveis, com a recurso a domótica e IoT.

Com este projeto pretende-se perceber a perceção dos utilizadores de domótica e de microprodução de fotovoltaica, a sua visão sobre a combinação das duas tecnologias, incluindo benefícios, riscos e os casos de utilização mais aplicáveis.

Pretende-se ainda desenvolver o conceito de um sistema de informação que consiga tirar partido dos mecanismos de monitorização das fontes de energia, seja da rede ou solar fotovoltaica e despoletar ações de forma automática, dentro do contexto de habitação unifamiliar, que permitam reduzir os custos, desperdício e até acautelar cenários de avaria ou risco para os utilizadores.

Palavras-Chave: Energia; Ambiente; Casa inteligente; *Internet of Things*.

Abstract

We are living in a period of the energy transition, which aims to accelerate the migration of demand from fossil fuels to less carbon-intensive energy solutions. In this context, one of the best solutions available for the residential consumption sector is photovoltaic solar energy sources.

On the other hand, we are witnessing the exponentially increasing use of IoT (Internet of Things) in industry, but also in domestic usage (called smart home), which allows combining home automation with the micro-production of electricity, reducing consumption in general, with fewer losses and waste, but also seeking to optimize the way energy is consumed, leveraging clean energy sources.

A literature review was carried out in search of information related to home automation and the implementations already made in other realities to show how energy and environmental awareness can be increased, as well as the potential of renewable energies, using home automation and IoT.

This project aims to understand the perception of the users of home automation and photovoltaic microgeneration, and their vision of the combination of both technologies, including benefits, risks and the most applicable use cases.

It is also intended to develop the concept of an information system that can take advantage of the mechanisms for monitoring energy sources, whether from the grid or solar photovoltaic, and trigger actions automatically, within the context of single-family homes, to reduce costs, waste and even prevent failure scenarios or risks for users.

Keywords: Energy; Environment; Smart Home; Internet of Things.

Índice Geral

Agradecimentos.....	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice de Tabelas	vi
Índice de Figuras.....	vii
Glossário de Abreviaturas e Siglas.....	ix
Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do tema.....	1
1.2. Motivação e relevância do tema	1
1.3. Questões e objetivos de investigação.....	4
1.4. Abordagem metodológica	5
1.5. Estrutura e organização da dissertação	6
Capítulo 2 – Revisão da Literatura	7
2.1. Energia Solar Fotovoltaica	7
2.1.1. A necessidade de adotar energias renováveis	7
2.1.2. Modelo conceptual.....	8
2.2. Domótica e as casas inteligentes	8
2.2.1. História, definição e conceptualização das tecnologias das casas inteligentes	9
2.2.2. A adoção de casas inteligentes	11
2.3. Os sistemas inteligentes de gestão de energia.....	13
2.3.1. Arquitetura de um HEMS	14
2.3.2. <i>Smart Home Energy Management Systems (SHEMS)</i>	15
2.3.3. Funcionalidades dos SHEMS	17
2.3.4. <i>Smart Home Renewable Energy Management System (SHREMS)</i>	18
2.4. Fatores de risco na adoção dos SHEMS	19
Capítulo 3 – Trabalhos relacionados.....	22
3.1. Sistema de Gestão de Energia Doméstica e Comunitária baseado em IoT na Jordânia	24
3.2. Solução de reconhecimento de atividade com reconhecimento de dispositivos para SHEMS	26
3.3. Implementação baseada no sistema SHMS em Singapura	31
Capítulo 4 – Questões de metodologia.....	35
4.1. Design Thinking	35
4.2. Metodologia PAwEn.....	37
4.3. Sessão de <i>focus group</i>	39

Capítulo 5 – Modelo de Sistema de Informação	43
5.1. Ambiente de testes	43
5.2. Casos de uso	47
5.2.1. Eficiência energética nas soluções de aquecimento	47
5.2.2. Eficiência energética nas soluções de climatização.....	49
5.2.3. Eficiência energética nas soluções de iluminação.....	51
5.2.4. Eficiência energética no consumo de eletricidade.....	54
Capítulo 6 – Conclusões.....	55
6.1. Principais conclusões	55
6.2. Limitações do estudo	58
6.3. Propostas de investigação futura	58
Referências Bibliográficas	60
Anexos e Apêndices.....	65
Anexo A	66
Apêndice A.....	67
Apêndice B	69
Apêndice C	72
Apêndice D.....	74
Apêndice E	78
Apêndice F.....	84

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Perspetivas funcionais, instrumentais e sociotécnicas das casas inteligentes.....	11
--	----

Índice de Figuras

Figura 1 - Ilustração de um sistema fotovoltaico e a relação dos seus componentes individuais	8
Figura 2 - Arquitetura representativa de um HEMS	15
Figura 3 - Funcionalidades de um SHEMS	17
Figura 4 - Possíveis Pontos de Ataque de um HEMS	20
Figura 5 - Arquitetura do sistema mostrando os três níveis estruturantes	24
Figura 6 - Arquitetura global do sistema.....	27
Figura 7 - Modelo de reconhecimento de atividades.....	29
Figura 8 - Arquitetura de Web Services.....	30
Figura 9 - Arquitetura de APIs	31
Figura 10 - Arquitetura do SHEMS.....	32
Figura 11 - Procedimento de pré-processamento	33
Figura 12 - As 5 fases do Design Thinking.....	36
Figura 13 - A metodologia PAwEn	38
Figura 14 - Switch, Firewall UTM e Hub Home Assistant.....	44
Figura 15 - Hub Samsung Smartthings	44
Figura 16 - Arquitetura IoT da habitação.....	45
Figura 17 - Dashboards Home Assistant - Distribuição de energia numa habitação	46
Figura 18 - Sensor de contacto Sonoff.....	47
Figura 19 – Termostato inteligente Netatmo.....	47
Figura 20 - Válvula inteligente de radiador Netatmo	47
Figura 21 - Diagrama de fluxo do caso de uso 1	48
Figura 22 - Caso de uso 1 - mensagem do SHEMS.....	48
Figura 23 - Sensores de temperatura.....	49
Figura 24 - Relé de comando dos estores.....	50
Figura 25 - Diagrama de fluxo do caso de uso 2	50
Figura 26 - Caso de uso 2 - mensagem do SHEMS.....	51
Figura 27 - Relé de controlo de iluminação	52
Figura 28 - Diagrama de fluxo do caso de uso 3	53
Figura 29 - Caso de uso 3 - mensagem do SHEMS.....	53
Figura 30 - Diagrama de fluxo do caso de uso 4	54
Figura 31 - Sensor e relé de comando.....	55
Figura 32 - Caso de uso 4 - mensagem do SHEMS.....	55
Figura 33 - Dashboard Home Assistant - Utilização de energia	66

Figura 34 - Dashboard Home Assistant - Produção de energia solar fotovoltaica.....	66
Figura 35 - Principais tipos de painéis solares fotovoltaicos	68
Figura 36 - Ataque de negação de serviço distribuído.....	69
Figura 37 - Configuração do sistema para o caso de uso 1	72
Figura 38 - Código YAML do caso de uso 1	73
Figura 39 - Configuração do sistema para o caso de uso 2 - 1	74
Figura 40 - Configuração do sistema para o caso de uso 2 - 2.....	75
Figura 41 - Configuração do sistema para o caso de uso 2 - 3.....	76
Figura 42 - Código YAML do caso de uso 2	77
Figura 43 - Caso de uso 3: arranque do temporizador	78
Figura 44 - Caso de uso 3: arranque do temporizador (YAML)	79
Figura 45 - Caso de uso 3: interrupção do temporizador	80
Figura 46 - Caso de uso 3: interrupção do temporizador (YAML)	81
Figura 47 - Caso de uso 3: fim do temporizador	82
Figura 48 - Caso de uso 3: fim do temporizador (YAML)	83
Figura 49 - Configuração do sistema para o caso de uso 4	84
Figura 50 - Código YAML do caso de uso 4	85

Glossário de Abreviaturas e Siglas

API – Application Programming Interface

APnUS – Auto Plug and Use Service

AQS – Águas Quentes Sanitárias

ATM – Automated Teller Machine

BS – Battery storage

DoS – Denial of Service

DSM – Demand Side Management

ECHONET – Energy Conservation and Home Network

EUA – Estados Unidos da América

EV – Electric Vehicle

HEMS – Home Energy Management Systems

HTTP – Hypertext Transfer Protocol

IETF – Internet Engineering Task Force

IoT – Internet of Things

IP – Internet Protocol

LAN – Local Area Networks

LSTM-RNN – Long Short Term Memory - Recurrent Neural Network

M2M – Machine to Machine

MG – Main Grid

MQTT – Message Queuing Telemetry Transport

OSGi – Open Services Gateway initiative

PAS – Power Alert System

PAwEn – People-Aware Environment

PC – Price Clustering

PF – Price Forecasting

PLC – Power Line Communication

PoS – Point of Sale

R&D – Research & Development

RE – Renewable Energy

REST – Representational State Transfer

RFID – Radio Frequency Identification

RMS – Root mean square

SHEMS – Smart Home Energy Management Systems

SHMS – Self-learning Home Management System

SHREMS – Smart Home Renewable Energy Management System

SOA – Service-Oriented Architecture

SOAP – Simple Object Access Protocol

SSM – Supply Side Management

SVM/GMM – Support Vector Machine/ Gaussian Mixture Model

TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol

UDDI – Universal Description, Discovery and Integration

UE – União Europeia

URI – Uniform Resource Identifier

URL – Uniform Resource Locator

UTM – Unified Threat Management

UX – User Experience

VM – Virtual Machine

W3C – World Wide Web Consortium

WAN – Wide Area Networks

WSDL – Web Service Description Language

*“You never change things by fighting the existing reality.
To change something, build a new model that makes the existing model obsolete.”*

Buckminster Fuller

Capítulo 1 – Introdução

1.1. Enquadramento do tema

Os meios técnicos para conduzir a energia solar a aplicações diferentes da natural são mais antigos do que o que normalmente se supõe. Há já muitos anos que a indústria colocou à disposição da sociedade equipamentos conversores diretos da energia do sol em energia elétrica, mas é agora, nesta época de ambiente contaminado e salobro, que acordamos da nossa letargia e começamos a tomar consciência da sua necessidade por razões de preservação ambiental. E não aproveitar sem mais demora a radiação que nos chega pontualmente, a cada dia, dessa estrela inesgotável para fins claramente energéticos, pode vir a provocar um desagradável revés na nossa cómoda e prazenteira existência. (Benito, 2011)

Por outro lado, a nossa habitação é um pouco de nós, pois nela passamos grande parte da nossa vida. Por isso, é algo de muito delicado e reflete um pouco da nossa personalidade. Tentamos permanentemente ajustá-la à nossa maneira de estar, de modo a ser cada vez mais confortável, mais segura e mais agradável. Tornámo-la mais inteligente, preparando-a para assumir novas funcionalidades: “*how far you go with your smart home depends on your lifestyle, budget and tastes*” (Briere & Hurley, 2003). Esses são os limites atuais: “*lifestyle, budget and tastes*”! A tecnologia deixou de ser o limite! Agora o limite está em nós. (Flores, 2010)

Com este trabalho pretende-se averiguar se, com recurso a soluções de domótica e IoT, é possível identificar cenários que permitam aumentar a nossa consciência energética e ambiental, bem como melhor aproveitar as fontes de energia hoje disponíveis, no contexto de uma habitação unifamiliar. Será ainda alvo deste trabalho avaliar se os consumidores deste sector identificam esta estratégia como uma mais-valia e um catalisador de adoção de fontes de energia renováveis para abastecimento de habitações unifamiliares em Portugal.

1.2. Motivação e relevância do tema

Passados mais de cinco anos sobre o Acordo de Paris e tendo em consideração as prioridades da atual Comissão Europeia refletidas nas exigentes metas de descarbonização para 2030 e de neutralidade carbónica para 2050, previstas no Green Deal, observamos a adoção pelos diferentes Estados-Membros de regulação e políticas

consentâneas com esse caminho. Consequentemente, o recurso à economia circular, com metas de incorporação de energias renováveis, substituindo a componente fóssil, a crescente eletrificação da economia nas suas múltiplas áreas, incluindo a mobilidade e o surgimento de outras tecnologias assentes em IoT, como é o caso das *Smart Cities*, ainda em fase inicial de desenvolvimento. Estas permitirão, no seu conjunto, fazer o trajeto de alteração da matriz energética.

Neste contexto, a migração da procura para produtos e soluções assentes nas energias renováveis é uma realidade crescente, assim como o surgimento de um conjunto alargado de artefactos que dão sentido ao conceito de casa inteligente, assentes nos princípios da domótica.

O termo “domótica” deriva do latim “*domus*”. Refere-se à automação das diversas instalações da casa e à aplicação de técnicas de automação para o conforto e segurança dos seus moradores, sendo também conhecida como “casa inteligente”. A domótica pode ser aplicada em inúmeras tarefas, mas o que realmente contribui no grau de automação é o nível de conforto que se deseja alcançar. (Buoro et al., 2012)

Para muitas pessoas, a primeira vez que ouviram falar sobre IoT foi na comunicação social ligada aos negócios ou numa conferência de negócios. Mas a IoT não é propriamente novidade. Já existe há vários anos e em várias formas. Os bancos operam grandes redes distribuídas de caixas automáticas (ATM - *Automated Teller Machine*). As empresas do sector do retalho operam grandes redes de pontos de venda (POS - *Point of Sale*), bem como implementações extensas de etiquetas de identificação por radiofrequência (RFID - *Radio Frequency Identification*) para rastrear o movimento de milhões de itens de *stock*. Os fabricantes conectam milhares de dispositivos para monitorizar e gerir a produção em redes *Machine to Machine* (M2M). Ninguém se referiu a estas redes iniciais como IoT, e na realidade havia diferenças significativas. Normalmente, lidavam com apenas um tipo de dispositivo conectado ou uma aplicação, tinham um conjunto de funções muito limitada e estritamente definida e usavam frequentemente protocolos proprietários em vez de IP (*Internet Protocol*) ou *cloud-oriented*, que se tornaram, hoje, nas opções de rede e computação dominantes. Ainda assim, isto representou as primeiras tentativas em grande escala de conectar dispositivos com algum nível de inteligência e comunicação incorporadas, com o objetivo de gerir funções críticas de negócio. Foram os precursores do que hoje consideramos IoT. (Kranz, 2017)

Na outra face da moeda temos a crescente onda de adoção por parte dos fornecedores de energia elétrica das *Smart Grids*, que têm permitido uma mudança no papel do consumidor final, que passa de passivo a ativo na cadeia de valor da energia elétrica. As mudanças tecnológicas, financeiras e sociais em desenvolvimento para fornecer inteligência à rede obrigam a dispositivos com protocolos unificados de monitorização, medição e controlo, o que resulta na tomada de decisões assertivas e em tempo real quanto ao consumo de energia do cliente final (Amin & Wollenberg, 2005). Para que estas estratégias funcionem, o consumidor deve participar ativamente na tomada de decisões sobre consumo de energia e a sua própria geração. No entanto, esta nova abordagem do setor elétrico requer vários elementos, tais como: hardware e infraestrutura instalada na sua residência e do sistema de distribuição; protocolos de comunicação que permitam a interação entre todos os atores do processo, incluindo o cliente final; e software que permita o controlo das diferentes variáveis, que influenciam o sistema, e ainda a implementação de uma estratégia de gestão. (Vega et al., 2015)

A mudança gradual em direção a uma economia de serviços e novas instalações para conforto térmico estão a aumentar consideravelmente o consumo de energia e as emissões dos edifícios. De acordo com a Diretiva da União Europeia (UE) sobre Desempenho Energético de Edifícios (*Directive 2002/91/EC on the Energy Performance of Buildings. Official Journal of EC L1*, 2003), o setor residencial é considerado responsável por cerca de 40% do consumo de energia primária. No setor residencial na UE, cerca de 57% do consumo total de energia final é destinado ao aquecimento dos espaços e cerca de 25% para águas quentes sanitárias (AQS). (Chwieduk, 2003)

Existem duas opções possíveis para abordar a economia de energia: estratégias do lado da oferta/produção e lado da procura/consumo, onde se centra este estudo.

As estratégias convencionais de poupança de energia do lado do consumo consistem em substituir componentes e tecnologias existentes por outras do mesmo tipo, mas com maior desempenho energético. Por exemplo, aumentar o isolamento térmico das paredes ou adotar lâmpadas elétricas de alta eficiência e eletrodomésticos com consumo reduzido. Nestes casos, a poupança de energia esperada pode ser facilmente avaliada através da taxa de redução de consumo que é reivindicada pelos fabricantes. Por outro lado, estratégias avançadas do lado do consumo podem ser definidas, mas requerem uma gestão inteligente e automática dos dispositivos consumidores de energia, que podem ser adotados no contexto de uma casa inteligente. Um sistema de automação residencial deveria ser capaz

de desligar (ou modular) todos os dispositivos consumidores de energia (aquecimento, refrigeração e iluminação), cujo funcionamento não é necessário no momento, levando em consideração as condições ambientais reais, pontos de ajuste de conforto e presença de humanos. Além disso, pode gerir os eletrodomésticos de forma a minimizar o seu consumo quando a energia elétrica está menos disponível ou mais cara. (Buoro et al., 2012)

É neste tipo de estratégia que se pretende explorar este projeto.

Concluindo, o sistema de fornecimento de energia para residências é tradicionalmente composto por uma caldeira para a produção de energia térmica e aquecimento de AQS, um ar condicionado para refrigeração e a eletricidade é tipicamente comprada ao operador da rede elétrica. No atual cenário de mercado, onde a tendência dos preços da energia é sempre crescente junto com as emissões poluentes, é importante reduzir a necessidade de energia primária atuando na eficiência, melhorando e alterando os sistemas de abastecimento de energia e reduzindo/otimizando o seu consumo.

1.3. Questões e objetivos de investigação

Com este trabalho pretende-se averiguar se, com recurso a soluções de domótica e IoT, é possível identificar cenários que permitam aumentar a nossa consciência energética e ambiental, bem como aproveitar melhor as fontes de energia hoje disponíveis, no contexto de uma habitação unifamiliar em Portugal. Daqui decorre a questão de partida:

De que forma se pode aumentar a consciência energética e ambiental, assim como o potencial das energias renováveis, com a recurso a domótica e IoT?

No processo de investigação para dar resposta a esta questão, colocam-se os seguintes objetivos:

O1. Exploração do modelo conceptual de um protótipo de gestão automatizada de equipamentos domésticos que permita criar efeitos de economia no consumo de energia.

O2. Identificar áreas de aplicação da IoT no contexto de equipamentos domésticos para aplicabilidade do protótipo.

O3. Explorar a sensibilidade dos utilizadores quanto aos mecanismos de adoção destas tecnologias, considerando vantagens e riscos.

O4. Identificar se esta estratégia de conjugação de tecnologias é vista como uma mais-valia e um catalisador de adoção de fontes de energia renováveis para abastecimento de habitações unifamiliares em Portugal.

1.4. Abordagem metodológica

A abordagem metodológica aplicada neste estudo segue os princípios do *Design Thinking*. Esta metodologia assenta em compreender as necessidades humanas envolvidas, em reenquadrar o problema de maneiras centradas no ser humano, em criar ideias em sessões de *focus group* e em adotar uma abordagem prática em prototipagem e testes.

A primeira fase do processo é obter uma compreensão empática do desafio. Isso envolve a organização de um *focus group* composto por um segmento de potenciais microprodutores de energia solar fotovoltaica e com apetência para o uso de tecnologia e IoT, com o principal objetivo de identificar que tecnologias podem potenciar a adoção destas soluções.

Durante a fase de definição, serão reunidas as informações captadas na primeira fase. Serão analisadas as observações e sintetizadas para definir as características centrais, sejam facilidades ou dificuldades identificadas que potenciarão a adoção de energias alternativas.

A fase de ideação tem como objetivo reunir as principais ideias para estabelecer recursos, funções e quaisquer outros elementos que permitam resolver os desafios identificados nas fases anteriores. Desta fase pretende-se obter ideias e conceitos mais detalhados para os testes do protótipo e para a forma de identificar os potenciais de rentabilidade da microprodução.

A quarta e quinta fases serão essencialmente compostas pela exploração do protótipo de automação que será constituído por um conjunto de elementos e equipamentos domésticos que já utilizem IoT, testando diferentes abordagens identificadas pelos desafios encontrados pelo *focus group* e identificando os principais resultados. Nesta fase mais experimental o objetivo é identificar a existência de soluções tecnológicas que apresentem respostas aos desafios encontrados nas primeiras etapas. As soluções serão testadas dentro do alcance do protótipo, com o objetivo de ter uma visão mais clara de como as diferentes soluções IoT produzem ou não os resultados procurados.

1.5. Estrutura e organização da dissertação

O presente estudo está organizado em seis capítulos que pretendem refletir as diferentes fases até à sua conclusão.

O primeiro capítulo introduz o tema da investigação e os seus objetivos, bem como uma breve descrição da estrutura do trabalho.

O segundo capítulo assenta no enquadramento teórico, designado por revisão da literatura.

O terceiro capítulo apresenta de forma resumida trabalhos relacionados, com o objetivo de introduzir informação de outros estudos que procuraram objetivos semelhantes, mas também que usaram técnicas diferentes e complementares deste estudo.

O quarto capítulo é dedicado à metodologia utilizada no processo de recolha e tratamento de dados bem como os métodos de análise utilizados.

O quinto capítulo apresenta a exploração do protótipo e os resultados obtidos, de acordo com a metodologia identificada.

No sexto e último capítulo identificam-se as conclusões deste estudo bem como as recomendações, limitações e trabalhos futuros.

Capítulo 2 – Revisão da Literatura

2.1. Energia Solar Fotovoltaica

2.1.1. A necessidade de adotar energias renováveis

Com o aumento populacional, tecnológico e o desenvolvimento económico, os seres humanos precisam de mais energia para criar uma vida melhor. No entanto, a queima de combustíveis fósseis tradicionais está a causar uma série de problemas ambientais, tais como as mudanças climáticas, o aquecimento global, a poluição do ar e as chuvas ácidas. Portanto, há uma necessidade urgente para o desenvolvimento de fontes renováveis de energia, a fim de lidar com as questões políticas, económicas e desafios ambientais que estão envolvidos na produção de eletricidade. O aparecimento de tais energias nos últimos anos impulsionou amplamente o interesse entre investigadores, políticos e líderes da indústria na compreensão da viabilidade económica desta nova fonte de energia. A captação de energia solar através de painéis solares fotovoltaicos, a fim de produzir eletricidade, é considerado um dos mercados mais promissores no domínio das energias renováveis. Devido à sua perspectiva de crescimento rápido e altos níveis de investimento envolvidos, o mercado fotovoltaico está agora mais disputado em todo o mundo, principalmente na Europa, China e nos Estados Unidos (Sampaio & González, 2017).

O desenvolvimento da tecnologia solar fotovoltaica tem vindo a crescer de uma forma muito rápida nos últimos anos devido à melhoria da tecnologia, à redução de custos em materiais e ao apoio governamental para a produção de eletricidade baseada em energias renováveis. Nomeadamente a fotovoltaica está a desempenhar um papel importante na utilização de energia solar para a produção de eletricidade a nível mundial. Atualmente, o mercado fotovoltaico está a crescer rapidamente em todo o mundo a uma taxa anual de 35-40%, o que torna esta tecnologia uma das mais rápidas indústrias em crescimento. A eficiência da célula solar é um dos parâmetros mais importantes para estabelecer esta tecnologia no mercado, nomeadamente a da célula solar de silício monocristalino tem melhorado ano após ano (Tyagi et al., 2013). Pode ser visualizada informação adicional sobre os principais tipos de células fotovoltaicas no Apêndice A.

2.1.2. Modelo conceptual

Os dispositivos fotovoltaicos convertem a luz diretamente em eletricidade e não devem ser confundidos com outras tecnologias solares, tais como a energia solar concentrada ou o solar térmico para aquecimento e arrefecimento. Os componentes chave de um sistema de energia fotovoltaica, representado na Figura 1, são vários tipos de células fotovoltaicas (frequentemente chamadas células solares) interligadas e encapsuladas para formar um módulo fotovoltaico (o produto comercial), a estrutura de montagem para o módulo ou matriz, o inversor (essencial para sistemas ligados à rede e necessário para a maioria dos sistemas fora da rede), a bateria de armazenamento e o controlador de carga (para sistemas fora da rede mas também cada vez mais para os ligados à rede). (Issaadi & Issaadi, 2018)

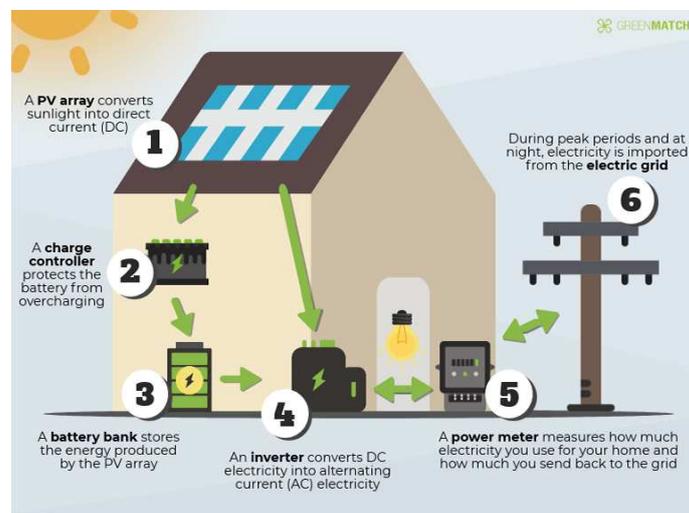


Figura 1 - Ilustração de um sistema fotovoltaico e a relação dos seus componentes individuais (Solar Photovoltaic Systems in the UK | GreenMatch, 2022)

2.2.Domótica e as casas inteligentes

As tecnologias de casas inteligentes referem-se a dispositivos que fornecem algum grau de ligação digital ou serviços melhorados aos ocupantes (Strengers & Nicholls, 2017), e são frequentemente sinónimo de “sistemas de domótica” (Parag & Butbul, 2018). As casas inteligentes tornaram-se centrais nas recentes discussões tecnológicas e políticas sobre eficiência energética, alterações climáticas e inovação. Por exemplo, múltiplos estudos enfatizam a criticidade das tecnologias de casas inteligentes para alcançar “edifícios de energia zero” (Marszal et al., 2011), e “edifícios com ciclo de vida de energia zero” (Hernandez & Kenny, 2010). Há ainda referências sobre a necessidade de evoluir para a automação doméstica e sistemas inteligentes com o objetivo de reduzir a utilização de recursos (Kooimey et al., 2013). As casas inteligentes são um dos dez pilares nas áreas

de ação da União Europeia para investimentos estratégicos em energia (European Commission, 2015).

Com o crescente interesse em casas inteligentes, o número de publicações acadêmicas sobre o tema tem vindo a aumentar rapidamente nos últimos anos. A este respeito, uma revisão sistemática da literatura é uma abordagem metodológica eficiente para extrair conhecimentos sobre um tópico de investigação emergente, como as casas inteligentesok. Artigos de revisão permitiram examinar outros serviços tecnológicos específicos da casa inteligente, tais como tecnologias de gestão de energia (McIlvennie et al., 2020) e assistentes de voz inteligentes (Sharif & Tenbergen, 2020). Embora o número de publicações relacionadas com o tema das casas inteligentes esteja a aumentar, a investigação existente ainda está limitada aos domínios do avanço tecnológico, perspetivas e restrições de aplicação e intenção de adoção de tecnologias.

2.2.1. História, definição e conceptualização das tecnologias das casas inteligentes

As tecnologias das casas inteligentes têm uma história muito mais longa do que se pode imaginar. A germinação de uma ideia de casas que poderiam ser mais inteligentes no conforto e comodidade que proporcionam, pode ser rastreada pelo menos até aos anos 1890 e início do século XIX, quando pessoas ricas utilizavam a introdução da eletricidade para criar casas com maiores graus de automatização e níveis de luxo, relaxamento e indulgência (Gram-Hanssen & Darby, 2018). O próprio Thomas Edison patenteou, já em 1910, iluminação automatizada e colorida para casas, utilizada mais tarde nesse ano para promover a publicidade pública para New York Edison. Do mesmo modo, a Rural Electrification Administration nos Estados Unidos promoveu ativamente durante a década de 1930 uma série de aparelhos elétricos “modernos” para acompanhar os esforços de eletrificação das quintas rurais.

A General Electric e a Westinghouse lançaram a campanha “*Live Better Electrically*” em 1956, em que atribuíam às casas um medalhão de ouro se convertessem todos os seus aparelhos em equipamentos elétricos. Desde os anos 1990 e 2000, as casas inteligentes surgiram novamente como pedras angulares para tornar as casas mais eficientes (e mais reduzidas em termos de consumo de energia ou emissões de carbono), bem como mais agradáveis. (Sovacool & Furszyfer Del Rio, 2020) Surgiram, entretanto, uma série de

termos difusos para descrever casas inteligentes, incluindo “serviços domésticos inteligentes” e “internet das coisas” (Hong et al., 2020), “dispositivos eletrônicos inteligentes” e “automação doméstica e imobiliária” (Dileep, 2020), “casas privadas baseadas em tecnologias de informação e comunicação (TIC)” (Paetz et al., 2012) e mesmo “casas não estereotipadas” para “interação homem-computador” (Desjardins et al., 2019). As tecnologias de domótica modernas parecem possuir pelo menos três atributos centrais, permitem um maior grau de controlo ou funcionalidade através de monitorização e interfaces de sensores (Wilson et al., 2017); são conectadas em rede ou em camadas, ligando diferentes características tecnológicas de forma a otimizar a prestação de serviços e/ou o desempenho (Balta-Ozkan et al., 2014), ou seja, juntam sistemas de energia, sistemas digitais, sistemas de informação, Internet das coisas, partilha de dados e mesmo infraestruturas não digitais (Silvast et al., 2018); e finalmente, podem capacitar, permitir ou facilitar aos utilizadores a alteração do seu comportamento, ou fazer coisas que não poderiam fazer antes. Tecnologias domésticas inteligentes também podem levar a conceções muito diferentes sobre o que é uma casa. Desafia ou expande o próprio significado de uma casa. (Gram-Hanssen & Darby, 2018), por exemplo, distinguem quatro conceções muito diferentes de uma casa - um espaço controlado e seguro, um local de atividade e práticas, um lugar para relações e continuidade, uma expressão de identidade e valores - e como isto mapeia quatro disciplinas muito diferentes de investigação: conceptual, técnica, prospetiva, e avaliativa de uma casa inteligente. (Wilson et al., 2015) diferenciam entre perspetivas funcionais, instrumentais e sociotécnicas de uma casa inteligente, levando cada uma delas a diferentes visões do que é e faz uma casa inteligente, identificadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Perspetivas funcionais, instrumentais e sociotécnicas das tecnologias das casas inteligentes (Sovacool & Furszyfer Del Rio, 2020).

	Perspetiva funcional	Perspetiva instrumental	Perspetiva sociotécnica
O que é uma casa inteligente?	Um ambiente monitorizado e sensorial que informa os ocupantes permitindo o controlo ativo ou a automatização	Um sistema de energia de edifícios gerido de forma ótima, que permite a informação e ajustamentos de preço-agilidade no comportamento	Uma visão digital, tecnológica, em rede, confrontada com as realidades mundanas da vida doméstica
	Um conjunto de tecnologias discretas que oferecem múltiplas oportunidades remotas e automatizadas para controlar o ambiente doméstico	Um sistema de gestão de energia doméstica para custos e conveniência	(Mais um) conjunto de tecnologias e dispositivos a integrar com os aparelhos e rotinas domésticas existentes
Qual é a finalidade da casa inteligente?	Melhorar a qualidade de vida doméstica através de novos serviços e funcionalidades melhoradas	Permitir a redução da procura de energia em casa e uma melhor gestão do sistema pelos serviços públicos	Sem propósito inerente, as funções surgem à medida que as tecnologias de casas inteligentes são incorporadas na vida doméstica como parte da digitalização das casas
	Facilitar o estilo de vida e a vida doméstica, melhorando a conveniência, a segurança, o entretenimento e a comunicação	Controlar o aquecimento e os aparelhos consumidores de energia, e ligar o consumo de energia à experiência de vida doméstica	Tornar o controlo e monitorização de casas e aparelhos mais fácil e conveniente como parte de uma dinâmica de longo prazo para a modernização das casas

2.2.2. A adoção de casas inteligentes

Com o rápido desenvolvimento e avanço das tecnologias digitais - no que diz respeito ao movimento das cidades inteligentes, especialmente nas áreas da informática, comunicação, rede e controlo, as novas tecnologias urbanas têm penetrado na vida das pessoas e mudaram os seus estilos de vida (Li et al., 2021). Nos últimos anos, o termo “casa inteligente” tem aparecido frequentemente nos principais meios de comunicação sociais e tornou-se um termo bem conhecido. Há também uma série de termos alternativos utilizados indistintamente com casas inteligentes, tais como casas eletrónicas, casas digitais, automação doméstica, domótica, casa conectada e assim por diante. Um dos objetivos dos serviços de tecnologia doméstica é servir as necessidades das pessoas,

melhorar a sua qualidade de vida e melhorar a eficiência nas suas casas - em termos de utilização de energia, vigilância e afins (Hong et al., 2020). O conceito de casas inteligentes é utilizar a residência como plataforma, integrando instalações e dispositivos relacionados com a vida através do aproveitamento de uma série de técnicas, incluindo cablagem, computadores, serviço de rede, controlo automatizado, sistemas de segurança e multimédia para construir uma instalação residencial inteligente e eficiente (Chatzigiannakis, 2016). Com a adoção da tecnologia da IoT, as residências inteligentes integram *hardware*, sistemas de *software* e plataformas de computação em nuvem para construir um ecossistema residencial inteligente. Finalmente, através da recolha e análise de dados sobre o comportamento dos utilizadores, as casas inteligentes fornecem aos utilizadores serviços de vida personalizados (Gram-Hanssen & Darby, 2018). O objetivo das casas inteligentes é proporcionar aos utilizadores segurança, conveniência, conforto, eficiência energética, entretenimento e melhorar a sua qualidade de vida na sua residência (Schweizer et al., 2016). Até à data, uma vaga mais ampla de “vida inteligente” está a espalhar-se pelo mundo, que é impulsionada pelo rápido desenvolvimento da IoT e por novas inovações tecnológicas como a Inteligência Artificial (S. H. Lee et al., 2008). Este tipo de “vida inteligente” é altamente popular entre a geração mais jovem e a sua crescente vontade de adotar tecnologias domésticas inteligentes promove o crescimento da indústria global de casas automatizadas (Aldossari & Sidorova, 2020). De acordo com o relatório “2020 Global Smart Home Forecast” publicado pela organização de investigação *Strategy Analytics* em junho de 2020, as despesas dos consumidores em *hardware*, serviços e instalação de *hardware* doméstico inteligente atingiram 89 mil milhões de dólares em 2020 e prevê-se um crescimento do consumo até aos 175 mil milhões de dólares até 2025. O mesmo relatório prevê ainda que haverá cerca de 390 milhões de casas em todo o mundo, ou 19% de todas as casas, instaladas com pelo menos um tipo de sistema de casas inteligentes até 2025 (Ablondi, 2020).

As tecnologias emergentes diversificadas têm sido cada vez mais integradas em projetos relacionados com a arquitetura (Martinez et al., 2019). Beneficiando dos avanços da IoT, as expectativas das pessoas relativamente à casa inteligente e aos seus serviços relacionados estão em contínua expansão, esperando que as capacidades oferecidas mudem as suas vidas diárias. A literatura existente mostrou que a adoção e integração de tecnologias de casas inteligentes cresceu exponencialmente na última década numa vasta gama de sectores, incluindo cuidados de saúde, gestão de energia e modo de vida. O custo

decrecente dos dispositivos inteligentes e a disponibilidade de sistemas de integração tornaram as casas inteligentes capazes de se estenderem em vários aspetos (Seo et al., 2021).

Por exemplo, (Carnemolla, 2018) indicou que as tecnologias inteligentes e a IoT têm o potencial de apoiar os idosos a envelhecer no local. O autor conceptualizou a interação da tecnologia das casas inteligentes com o ambiente construído através do modelo de Gerontologia Ambiental e verificou o papel da tecnologia no apoio ao “envelhecimento no local”. (Choi et al., 2019) apresentaram uma plataforma relativa aos cuidados domiciliários para idosos, que foi formada pela fusão dos serviços de saúde e da tecnologia da IoT em residências para apoiar o envelhecimento em vigor na sociedade de rápido envelhecimento existente. Outro exemplo, (E. J. Lee & Park, 2020) desenvolveram um quadro de serviços domiciliários inteligentes que proporcionam experiências biofílicas aos residentes idosos para uma saúde e bem-estar melhorados, o que promove uma vida sustentável entre os idosos no contexto do envelhecimento no local.

Nos sectores de gestão de energia, (Paetz et al., 2012) indicaram que os serviços de tecnologia de casas inteligentes têm o potencial de reduzir o consumo doméstico de energia. Os autores conceberam um cenário de casa inteligente que combina tarifas de eletricidade variáveis, contadores inteligentes, eletrodomésticos no sistema de casa inteligente para melhorar a eficiência energética doméstica e reduzir o consumo. Subsequentemente, (Ringel et al., 2019) verificaram que a poupança de energia esperada pode ser alcançada através da tecnologia de gestão de energia doméstica inteligente e descobriram que a solução doméstica inteligente pode proporcionar benefícios consideráveis em múltiplos domínios, tais como recursos económicos, sociais e ambientais.

Para além do referido, (Dahmen et al., 2017) e (Pandya et al., 2018) concentraram-se na monitorização da segurança e na tecnologia de deteção de ameaças e abordagens em casas inteligentes para garantir a segurança das propriedades e dos ocupantes.

2.3.Os sistemas inteligentes de gestão de energia

Home Energy Management Systems (HEMS), ou sistemas de gestão de energia doméstica, são uma tecnologia desenvolvida para ambientes domésticos inteligentes, que visa, entre outras funções, gerir e reduzir o desperdício de energia e que estão

normalmente integrados com um contador inteligente e com sistemas de controlo de energia.

Os EUA, UE e Japão promovem ativamente o HEMS. Hitachi, Panasonic, Toshiba e Mitsubishi Electric fundaram a associação ECHONET (*Energy Conservation and Home Network*) em dezembro de 1997, que visava estabelecer especificações padronizadas de redes locais e desenvolver aparelhos domésticos com funções de rede para implementar o serviço de gestão de energia doméstica. A UE juntou-se ao desenvolvimento do HEMS e estabeleceu o projeto "*Econ*" *Home Network* em janeiro de 2006. Os países participantes são o Reino Unido, França, Alemanha, Portugal, Itália e Bélgica, que têm como objetivo a poupança de energia. O projeto enfatiza hábitos de utilização de energia doméstica, utilização de energia no trânsito e edifícios de energia verde para reduzir eficazmente as perdas. Os EUA adotaram um sistema especializado para construir o HEMS e desenvolveram o *website* de poupança de energia para fornecer serviços aos utilizadores, para desta forma conhecerem as suas informações de utilização de energia, critérios relevantes para a tomada de decisões sobre a utilização de energia e diagnóstico das condições ambientais (Cho et al., 2013).

2.3.1. Arquitetura de um HEMS

Um sistema de gestão de energia doméstica é definido como um sistema que procura informação de sensores dentro de dispositivos domésticos, através de redes locais. Os HEMS, na sua maioria, são desenvolvidos para controlar a utilização de energia, melhorando o nível de desempenho de uma rede inteligente (*Smart Grid*), otimizando a procura e ativando dispositivos nas habitações, conforme exemplificado na Figura 2 (Mahapatra & Nayyar, 2022).

O HEMS pode desempenhar o papel de um contador de energia moderno, monitorizando e ajustando inteligentemente o consumo de energia, recorrendo a contadores inteligentes, dispositivos inteligentes, aparelhos e fichas inteligentes, resultando em energia eficiente e melhor gestão (J. I. Lee et al., 2011).

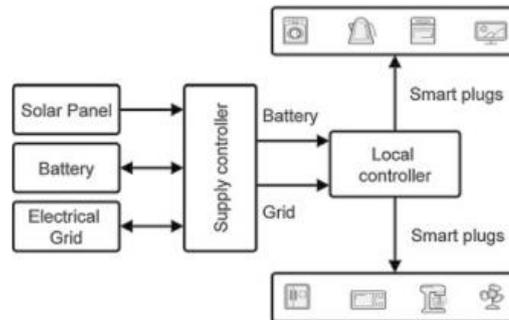


Figura 2 - Arquitetura representativa de um HEMS
(Mahapatra & Nayyar, 2022)

2.3.2. Smart Home Energy Management Systems (SHEMS)

Vários estudos foram realizados sobre SHEMS utilizando tecnologias baseadas em RFID (Yang et al., 2010) ou baseados em tecnologia Zigbee (Han & Lim, 2010), incluindo desenhos de plataformas de sistemas de gestão de energia, desenhos de protocolos de comunicação e soluções de software. As principais discussões podem ser divididas aproximadamente em controlo de consumo de energia para equipamentos domésticos ou conceção de módulos de poupança de energia. (Son & Moon, 2010) propuseram a utilização de *Power Line Communication* (PLC) para construir um SHEMS e para monitorizar o consumo de energia medido utilizando um contador inteligente. Os utilizadores podem utilizar a rede para acesso remoto, ajustar o mecanismo de tomada de decisão de utilização de energia e implementar formas de controlo automático de acordo com os requisitos de carga elétrica. A maior dificuldade neste tipo de sistema é que os tipos de aparelhos elétricos ligados à tomada têm de ser primeiro claramente definidos, e por esse motivo, a usabilidade e expansibilidade são mais reduzidas. O mecanismo concebido pela (Rossello-Busquet et al., 2011) é a gestão de aparelhos domésticos baseada na *framework* OSGi (*Open Services Gateway initiative*), contudo, os protocolos de comunicação dos aparelhos domésticos diferem entre si, o que dificulta de forma considerável a interação e sucesso do sistema.

SHEMS são amplas implicações do consumo pesado de energia elétrica em habitações que tem atraído a atenção dos cientistas da geração atual. Com o estilo de vida luxuoso liderado pela geração atual, onde as tarefas do dia-a-dia são levadas a cabo por aparelhos elétricos e novos dispositivos inovadores a serem lançados no mercado de forma constante, a procura de energia resiliente pode ultrapassar a quantidade que está a ser gerada. O conceito de sistemas HEMS ou SHEMS não trata apenas de propor novos

modelos para poupar ou gerir energia, ou fazer aparelhos eficientes em termos energéticos para serem utilizados em casa, mas também de sensibilizar os consumidores e motivá-los a participar ativamente nas atividades relacionadas com a conservação de energia (Mahapatra & Nayyar, 2022).

Os principais componentes de um SHEMS são:

- Sensores – dispositivos que contribuem para o conceito SHEMS e tratam da deteção e medição de corrente, tensão, movimento, luz e ocupação ou outros como temperatura e humidade. Vários outros sensores foram especialmente concebidos por razões de segurança e proteção com por exemplo: fumo, gases, água, sensores de contacto, etc. A principal função destes sensores é detetar a presença dos parâmetros desejados em diferentes locais e enviar o seu sinal para um sistema centralizado.
- Tecnologias de Informação e Comunicação – são o elo que interliga os sensores, contadores e dispositivos com a monitorização ou a unidade de controlo. Tanto os dispositivos com fios, como os métodos de comunicação sem fios, são concebidos para interligar vários aparelhos domésticos. Wi-Fi, ligação por cabo de rede, Bluetooth, Zigbee ou Z-Wave, são tecnologias líderes que predominam nas redes locais domésticas.
- Equipamentos inteligentes – um sistema de equipamentos inteligentes oferece aos utilizadores uma consciência sobre a sua utilização de energia, informação da ação que pode permitir a eficiência energética e o respeito pelo ambiente. São principalmente aparelhos domésticos que estão equipados com inteligência, bem como com um sistema de comunicação que facilita um modo remoto de controlo e de monitorização.
- Sistema de gestão de energia: atualmente o sistema carece de adequação a todas as soluções, uma vez que vários programadores se concentram em diferentes aspetos. Os princípios de gestão de energia, plataformas de software e inteligência incorporada no SHEMS variam de fabricante para fabricante.

2.3.3. Funcionalidades dos SHEMS

Segundo (Zhou et al., 2016), as características específicas de um SHEMS consistem em cinco módulos principais de funcionamento, como apresentado na Figura 3.

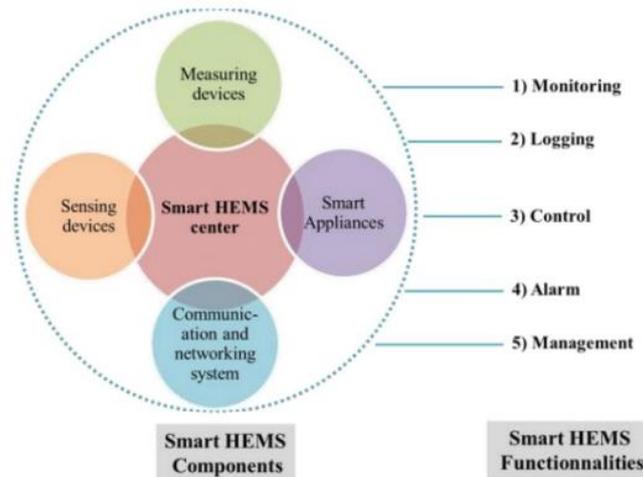


Figura 3 - Funcionalidades de um SHEMS
(Nacer et al., 2017)

O processo de monitorização (1) torna acessível a informação em tempo real relativa aos padrões de utilização de energia e desloca o foco do utilizador para a conservação da mesma. Pode oferecer informações visuais dos vários modos de funcionamento, juntamente com informação do estado de cada dispositivo doméstico.

O registo (2) é o processo de recolha e salvaguarda de informação sobre o estado e consumos de cada equipamento, gerada a partir de informação dos medidores ou contadores de energia.

Os fatores de controlo (3) podem ser segregados em direto e remoto. O controlo direto pode ser definido como controlo exercido tanto nos dispositivos eletrónicos como diretamente no sistema de controlo, enquanto o controlo remoto significa o controlo do utilizador no acesso, monitorização e padrões de consumo dos seus dispositivos eletrónicos através de outros sistemas e dispositivos, como por exemplo, computadores ou *smartphones*.

Os alarmes (4) são gerados, bem como transmitidos ao SHEMS que contém informações sobre a localização de falhas, tipologias, eventos, etc.

A gestão (5) é uma das principais funções do SHEMS que melhora tanto as otimizações como a eficiência na utilização da energia elétrica dentro de uma habitação inteligente. Pode também abranger operações que incluem o serviço de gestão de sistemas

de energias renováveis, de armazenamento de energia, de gestão de eletrodomésticos e até o serviço de gestão de baterias de veículos elétricos, conhecidos por veículos Plug-in.

Todas estas funcionalidades combinadas permitem ao SHEMS, entre outras:

1. Fornecer uma visão geral informativa e gráfica dos dados de utilização de energia;
2. Utilizar funções avançadas de automatização e monitorização;
3. Inclui também possibilidades de previsão de consumos, bem como de programação de cargas tendo por base a geração de energia local;
4. Executar operações automatizadas com possibilidade de permitir ao utilizador seleccionar e definir prioridades.

2.3.4. *Smart Home Renewable Energy Management System* (SHREMS)

Um sistema de gestão de energia renovável inteligente (SHREMS) é um sistema capaz de relacionar habitações familiares e os fornecedores de energia, levando à otimização do consumo. Este esforço conjunto resulta numa redução das contas de eletricidade dos consumidores e numa gestão eficiente dos picos de carga pelos prestadores de serviços de eletricidade (Fischer, 2008). A *Smart Grid* é considerada um dos conceitos emergentes de R&D (*Research & Development*) que integram tanto a rede elétrica tradicional como o recente desenvolvimento das tecnologias de informação e telecomunicações para melhorar a eficiência dos sistemas de produção, transmissão, distribuição e consumo de energia (Hu & Li, 2013). Uma das principais características da *Smart Grid* é a integração de recursos energéticos renováveis e de armazenamento no lado do consumo (Erol-Kantarci & Mouftah, 2011). Também permite aos consumidores e aos serviços públicos comunicar entre si para partilhar a responsabilidade de gerir o fluxo e o consumo de energia (International Energy Agency, 2014).

Num SHREMS, pode ser utilizado um microcontrolador para multiplexar as diferentes fontes de energia para fornecer a casa com a energia necessária, com base na comunicação entre o fornecedor e o proprietário da casa. O protocolo de comunicação, fluxo de energia, procura e resposta bem como o hardware e software do sistema de faturação são desenvolvidos utilizando um *gateway* doméstico e um servidor do lado do fornecedor, considerando apenas o modelo conceptual.

O *gateway* doméstico é um sistema integrado com um *modem* GSM e é instalado nas instalações do consumidor. O servidor é instalado na sede do fornecedor. Consumidor e fornecedor podem gerir o fluxo de energia e o consumo através da troca de mensagens entre o *gateway* e o servidor através do *modem* GSM.

2.4.Fatores de risco na adoção dos SHEMS

Importa também explorar a literatura existente no que concerne aos fatores de risco das soluções de gestão inteligente de energia, bem como da domótica de forma mais global.

(Park et al., 2018) investigaram diversos tipos de riscos e fatores que afetam a perceção de risco da IoT no campo dos sistemas de gestão da energia doméstica.

Os riscos percebidos incluem risco financeiro, risco de desempenho, risco de privacidade e risco de radiação eletromagnética. As propensões dos indivíduos incluem a sensibilidade às alterações dos preços da eletricidade, a destruição ambiental e a aceitação de novas tecnologias. Como resultado, (Park et al., 2018) confirmam a existência de vários fatores de influência na perceção do risco dos sistemas de gestão de energia doméstica baseados na IoT. O risco de radiação eletromagnética é o mais influente entre os vários tipos de riscos percebidos, seguido pelo risco de desempenho e o risco de privacidade.

(Park et al., 2018) analisaram também variáveis demográficas, concluindo que a idade e o nível educacional afetam a perceção do risco com um intervalo de confiança de 95%. Quanto maior for a idade, menor será a perceção de risco dos serviços de IoT. Na educação, quanto maior for o nível de ensino, maior é a perceção de risco dos serviços da IoT. O estudo mostra ainda que as mulheres são mais propensas a perceber os riscos com a IoT do que os homens.

Outro dos riscos a considerar é devido à natureza da fraca compatibilidade e interoperabilidade da conceção dos sistemas, bem como pouca definição nos sistemas de padronização, e por isso se torna difícil construir uma implementação comum e genérica.

A cibersegurança é outro dos grandes riscos. Para ligar tudo e fornecer serviços de controlo inteligente através da Internet, um sistema menos protegido pode revelar dados internos. Por isso, é necessário considerar soluções técnicas para garantir a privacidade dos seres humanos e das coisas (Cho et al., 2013).

Vários fatores podem encorajar os cibercriminosos a considerar a invasão da privacidade das pessoas, mas as razões mais comuns parecem ser apenas por diversão, com a intenção de provar um ponto de vista de que podem invadir um novo sistema, ou simplesmente porque apenas querem derrubar um sistema organizado (Beaver et al., 2007). Normalmente encontram ou tropeçam nas falhas de um design existente e depois exploram estas deficiências. Por vezes a informação recolhida de vítimas insuspeitas é vendida a terceiros por algum valor monetário e esta é uma das ocasiões em que os cibercriminosos trocam diretamente o nome de utilizador, palavras-passe, números de telefone e vários outros dados pessoais de utilizadores na chamada "dark web" (Kharpal, 2015). Outras formas de ameaça podem incluir a fraude na Internet, *cyber-bullying* e chantagem.

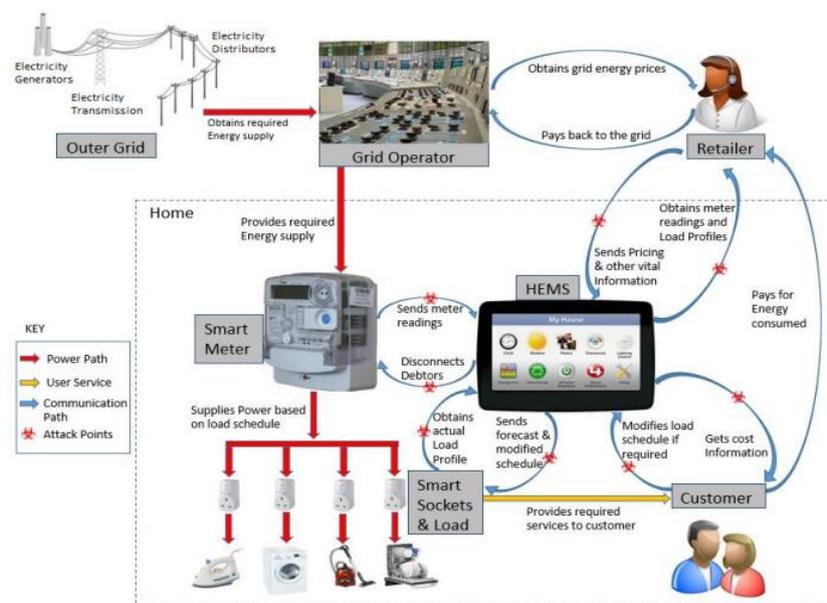


Figura 4 - Possíveis Pontos de Ataque de um HEMS (Anuebunwa, 2019)

A Figura 4 é um esquema para o SHEMS que mostra várias linhas de comunicação e vários pontos de ataque possíveis dentro da arquitetura de um SHEMS, com o foco do ciberataque no lado do consumidor. São considerados ataques aos dados de preços, bem como ao perfil de consumo, os ataques de DoS (*Denial of Service*) ou *phishing*. Enquanto um ataque de DoS envolve o congestionamento do tráfego de dados para o SHEMS, dificultando assim a chegada dos dados reais, um ataque de *phishing* envolve muito mais, incluindo ter acesso a dados pessoais importantes de uma vítima, tais como nomes de utilizador e palavras-passe (Patrikakis et al., 2004). Ao mascarar e fingir ser uma organização de confiança, os infratores podem conseguir que os clientes cedam os seus

dados de login com os quais podem ter acesso às informações pessoais dentro do agregado familiar.

Assim que o acesso for obtido na rede, mais informações tais como perfil de consumo, ocupação, dados históricos e outras informações pessoais disponíveis para o SHEMS podem ser acessíveis pelo infrator e o conteúdo destes dados pode ser modificado ou substituído. Se o atacante obtiver acesso ao agregado familiar, pode utilizar software sofisticado para modificar e sobrepor-se a todas as variáveis de entrada à sua escolha. Isto pode levar à criação de piores programações de consumo, o que pode levar a um aumento de custos e perdas, quando comparado com a programação sem ataque.

Em qualquer casa inteligente, o principal vetor de ataque para carregar dados de perfil armazenados no SHEMS é através da rede de comunicação que liga o SHEMS à Internet. Esta é ligação que permite ao sistema ser acedido do exterior da habitação e obter dados de preços online à medida que são publicados pelos fornecedores de energia e isto expõe invariavelmente a ligação a tornar-se um alvo de um ataque. Este é um dos pontos onde uma conceção de segurança apropriada deve ser aplicada.

Devido às vulnerabilidades dos dispositivos *on-line*, especialmente à medida que mais dispositivos são ligados através da IoT, os riscos de ciberataque são uma ameaça contínua para os utilizadores. Na medida em que uma resposta reativa pode tornar-se inevitável, uma resposta proactiva aos ciberataques é normalmente a melhor forma de deter um cenário de ataque.

A questão dos preços é uma variável importante, mas também vulnerável porque várias atividades de agendamento do SHEMS estão normalmente preocupadas com a poupança de custos de energia, tornando-as assim num alvo do infrator (Torriti et al., 2010).

De acordo com o estudo de (Anuebunwa, 2019), que se encontra sistematizado no Apêndice B, os ataques aos dados de preços são categorizados em ataque de negação de serviço (DoS), ataque de preços constantes, falsa interferência de dados bem como ataque de manipulação de dados.

Capítulo 3 – Trabalhos relacionados

Neste capítulo pretende-se identificar três trabalhos relacionados com os objetivos do presente estudo, que exploram soluções mais complexas de SHEMS e que implementaram técnicas de identificação e automação de dispositivos inteligentes permitindo obter resultados de poupança energética.

Os casos exploram diferentes abordagens, desde conceitos em redes alargadas, seguindo os princípios das *Smart Grids* e conceitos de adaptação dos equipamentos existentes numa habitação, levando a torná-los exequíveis para um ambiente de domótica sem ser necessário proceder à sua renovação ou substituição.

Foram considerados pertinentes por poderem alargar a visão do que é possível fazer neste âmbito para lá do que foi possível exemplificar no ambiente de testes, permitindo desta forma completar o conhecimento sobre as soluções de domótica e o seu potencial na redução de custos energéticos, integração de diferentes fontes de energia e consciencialização energética e por consequência ambiental.

No capítulo 3.1 os investigadores propuseram um método de gestão energética dos aparelhos elétricos no pico do consumo, proteção dos aparelhos elétricos contra as correntes destrutivas e redução dos custos que os consumidores têm de pagar. Foi desenvolvido um dispositivo que está ligado ao fluxo de energia de cada aparelho doméstico e que durante 24 horas examina o desempenho dos aparelhos elétricos dentro de diferentes intervalos de tempo, calculando a quantidade de energia consumida através da recolha de dados e do processamento inteligente.

O principal problema nesta abordagem é que o consumidor não pode utilizar alguns dos seus aparelhos elétricos durante os picos de consumo. Para ultrapassar este problema, uma lista de equipamentos que podem ser desativados no pico de consumo é apresentada pelo consumidor, utilizando as regras fornecidas pela empresa de distribuição de eletricidade, que inclui a lista de preços da quantidade de eletricidade consumida nas diferentes gamas de consumo e dá ao utilizador a informação para modificar os padrões de consumo.

No capítulo 3.2 é proposto um mecanismo de reconhecimento da atividade de eletrodomésticos para um sistema de gestão de energia IoT e especialmente uma camada de serviços de gestão intermédia para a conformidade dos atuais eletrodomésticos, que não só estabelece serviços de comunicação entre vários equipamentos, mas também

fornece serviços para aplicações de camada superior baseados numa arquitetura orientada para o serviço. Além disso, o sistema apresentado pode deduzir as atividades humanas dos aparelhos utilizados e a variação dos seus estados e ainda fornecer serviços de gestão de energia. Por outras palavras, o sistema pode identificar as atividades domésticas e notificar os utilizadores sobre o que é um aparelho não utilizado ou desligá-lo automaticamente. Através do planeamento energético, o sistema pode ligar/desligar automaticamente dispositivos ou pode lembrar os utilizadores de desligarem dispositivos desnecessários.

Devido ao atual desenvolvimento da IoT e ao aumento dos sentidos de poupança de energia, este estudo propôs um sistema de gestão de energia IoT orientado para eletrodomésticos. A tecnologia de reconhecimento de dispositivos permite a ligação de aparelhos domésticos ao sistema IoT sem mecanismos adicionais de apoio. As atividades prováveis são determinadas pela utilização do mecanismo de seleção de dispositivos e a relevância entre atividades e dispositivos é construída de acordo com o modelo de rede de inferência.

De acordo com os resultados das experiências, a melhoria do comportamento de utilização dos aparelhos que utilizam o sistema, melhora a eficiência na poupança de eletricidade.

Por fim, no capítulo 3.3 os autores propuseram a implementação de um método para um *Self-learning Home Management System* (SHMS) baseado em *Machine Learning* num ambiente IoT. O método sugerido tem características tais como alertas de potência, agrupamento de preços e previsões de preços, que foram implementadas e desenvolvidas pela tecnologia de *Machine Learning*. Os autores utilizaram uma habitação para simular a conceção do sistema onde são utilizadas tomadas inteligentes para monitorizar o consumo de energia e utilizaram também a análise de dados para otimizar o consumo de energia de acordo com o hábito do proprietário da habitação. Os autores introduziram ainda um sistema que pode monitorizar a quantidade de eletricidade consumida e otimiza as habitações, reduzindo a carga extra no fornecimento de energia e reduzindo os custos de consumo.

3.1. Sistema de Gestão de Energia Doméstica e Comunitária baseado em IoT na Jordânia

(Al-Oudat et al., 2019) define como principal objetivo desta solução reduzir o custo de consumo doméstico de energia e manter o pico de consumo comunitário abaixo de um limite seguro da rede de distribuição. Esta solução fornece informação sobre o consumo de energia e oferece recomendações aos utilizadores com base nas suas preferências e na utilização normal entre os membros da comunidade. O feedback normativo (Schultz et al., 2015), provou ser eficaz na formação de um bom comportamento dos consumidores na redução do consumo de energia. Na Jordânia, muitas pessoas perguntam aos seus vizinhos sobre o seu consumo de energia para estimar a utilização normal da energia. Com base na estimativa, é possível verificar se o seu consumo está acima ou abaixo do normal no seu bairro para gerir o seu próprio consumo de energia. O sistema recolhe dados sobre o consumo de energia e reconhece padrões de consumo semelhantes para dar uma estimativa mais precisa e de fácil acesso do consumo normal de energia. Além disso, a saúde dos equipamentos elétricos numa habitação é observada e comunicada ao utilizador para outras ações com base nas correntes desenhadas pelos aparelhos. O principal componente desta solução é uma placa IoT com módulo Wi-Fi, sensor de corrente e um relé. A placa IoT foi concebida e fabricada como uma pequena placa de circuito impresso para ser ligada em série a cada aparelho de uma habitação. Assim, o sistema monitoriza o consumo global de energia e assegura o bom funcionamento de cada aparelho através da monitorização da corrente. A arquitetura de sistema é mostrada na Figura 5.

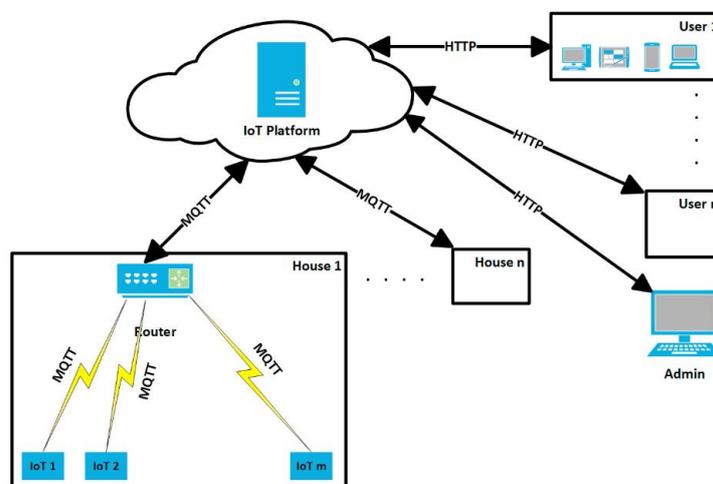


Figura 5 - Arquitetura do sistema mostrando os três níveis estruturantes (Al-Oudat et al., 2019)

O sistema é composto por três níveis principais:

1. Nível da casa: onde cada aparelho da casa está ligado à alimentação elétrica através de placa IoT. Cada casa é ligada ao nível superior (plataforma IoT) através do protocolo MQTT (*MQTT - The Standard for IoT Messaging*, 2022).
2. Plataforma IoT: A plataforma liga o nível inferior com o nível dos utilizadores. O protocolo MQTT é utilizado para o nível da casa e um protocolo HTTP é utilizado para o nível dos utilizadores.

Há várias plataformas comerciais disponíveis, tais como AWS IoT Core da Amazon, Azure IoT Hub da Microsoft e Google IoT Core da Google.

3. Nível Utilizador/Admin: Estes são os consumidores dos dados agregados pelas placas IoT nas casas e os tomadores de decisão relativamente aos objetivos do sistema. Para o utilizador o objetivo é controlar o tempo de utilização dos seus aparelhos para baixar a sua fatura energética. Para o Administrador, o objetivo é manter o pico de consumo a qualquer momento abaixo de um determinado limite seguro e fornecer aos utilizadores recomendações (sob a forma de feedback normativo) bem como diagnósticos para os seus aparelhos.

O motivo de investigação é definido da seguinte forma: "Dado n casas numa comunidade com m aparelhos por casa (onde cada equipamento está equipado com uma placa IoT que monitoriza a corrente consumida), é necessário minimizar o custo de consumo de energia por cada casa, bem como manter o consumo total da comunidade sob um determinado limite seguro. Além disso, é necessário monitorizar os aparelhos para eventuais falhas que resultem em excesso de corrente consumida".

Com base nesta declaração de problema, a solução tem dois objetivos:

1. O objetivo para o proprietário da casa é poupar dinheiro, dando prioridade à utilização dos seus aparelhos. As mensagens de recomendação são enviadas em horários pré-determinados ou a pedido do utilizador ao sistema. Uma mensagem tem um histórico de utilização a curto prazo durante o período de faturação (um mês na Jordânia) e uma sugestão fora da lista baseada no histórico a longo prazo (um ano ou mais).
2. Para o fornecedor de energia elétrica, tendo como objetivo manter o pico global de consumo de energia abaixo de determinado limite estabelecido pela política da

empresa ou pelas capacidades de carga da rede de distribuição. Presume-se que um utilizador concede algum controlo sobre os eletrodomésticos ao fornecedor de energia elétrica. Quando necessário, este analisa todas as casas da comunidade para decidir quais os aparelhos a desligar para permanecer abaixo do limite de consumo de energia de pico. Para atingir este objetivo, cada utilizador tem um contrato com a empresa de distribuição em que o utilizador enumera os eletrodomésticos numa ordem decrescente de preferências.

3.2. Solução de reconhecimento de atividade com reconhecimento de dispositivos para SHEMS

(Cho et al., 2013) apresentou este artigo para introduzir um mecanismo para reduzir o consumo de energia dos eletrodomésticos utilizando a IoT.

A arquitetura global do sistema proposto é mostrada na Figura 6. Este sistema pode ser ligado à Internet, via IP e os dispositivos finais com vários protocolos, que incluem ZigBee, Bluetooth e TCP/IP comunicam uns com os outros numa rede privada. Sobre o aspeto da estrutura, o sistema consiste em três camadas, que são o módulo *Heterogeneous Network End Device*, o módulo *Electric Appliance-oriented Middleware* e o módulo *Application of Intelligent Middleware*.

Muitos dos dispositivos do mercado utilizam protocolos específicos para comunicar com outros do mesmo tipo. O primeiro módulo pretende converter formatos de pacotes de transmissão para uma entrega conveniente ao módulo da segunda camada para registo e comunicação.

O segundo módulo (*middleware*) é a parte mais importante da conceção do sistema e existem quatro mecanismos encarregados de toda a funcionalidade do módulo. Para a intercomunicação entre dispositivos que utilizam diferentes protocolos de rede, é utilizado um mecanismo de conversão de protocolo de rede heterogéneo para resolver e encaminhar mensagens enviadas. Quando os diferentes dispositivos se ligam ao sistema através do segundo módulo, o mecanismo *Auto Plug and Use Service* (APnUS) regista automaticamente os serviços fornecidos pelos dispositivos finais. O trabalho do mecanismo de reconhecimento de aparelhos elétricos consiste principalmente em extrair características de corrente dos dados medidos com contadores inteligentes, que são também uma espécie de dispositivo final, e utilizar as características para identificar os

aparelhos que estão a ser utilizados. Finalmente, o pacote de reconhecimento de atividades classifica as atividades dos utilizadores de acordo com os aparelhos elétricos que estão a ser utilizados e os cenários relevantes inferidos pelos sensores domésticos circundantes.

O terceiro módulo, *Application of Intelligent Middleware*, fornece aplicações e serviços relevantes ao sistema, tais como gestão de aparelhos domésticos e recomendação de poupança de energia. O módulo fornece ainda quatro APIs (*Application Programming Interface*) concebidos para utilização em aplicações de dispositivos móveis.

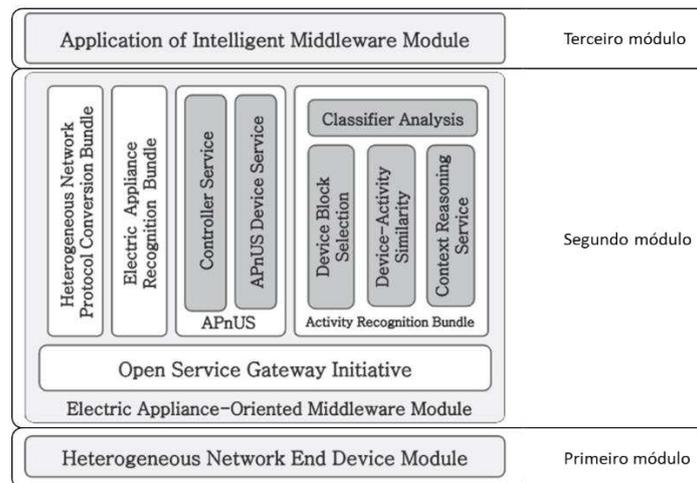


Figura 6 - Arquitetura global do sistema
(Cho et al., 2013)

As principais contribuições deste caso de estudo são:

1. *Heterogeneous Network End Device*: para alcançar o serviço de comunicação “Coisa a Coisa”, sendo o maior desafio na realização do sistema, o mecanismo de integração de dispositivos que utilizam diferentes protocolos. Este sistema concebe a forma como os dispositivos domésticos são integrados na arquitetura IoT e fornece um mecanismo de comunicação de diferentes protocolos;
2. *Electric Appliance-Oriented Middleware*: uma conceção orientada para o serviço de *middleware* que permite aos utilizadores evitarem fazer qualquer configuração do sistema, chamada Configuração Zero, que por sua vez efetua automaticamente configurações complexas para os utilizadores, integra propriedades de serviço, melhora a interface de gestão dos domínios de serviço e fornece uma solução viável para questões de segurança e padronização;

3. *Application of Intelligent Middleware*: que representa um sistema para inferir a atividade do utilizador de acordo com os estados de funcionamento e as variações de estado dos aparelhos elétricos. Além disso, o sistema também tem a capacidade de desligar aparelhos elétricos desnecessários para fornecer serviços de poupança de energia ou ligar os aparelhos elétricos necessários para fornecer aplicações de controlo mais convenientes.

Sendo mais relevantes para o estudo o segundo e terceiro módulos, são agora mais detalhados.

O módulo de *middleware* orientado para aparelhos elétricos é a arquitetura central do sistema, uma vez que os dispositivos IoT têm numerosos protocolos de rede e carecem de padrões comuns, e são conhecidas as dificuldades na intercomunicação de diferentes protocolos de rede. Uma tal incompatibilidade causa dificuldades na intercomunicação dos dispositivos. Por conseguinte, o pacote de *middleware* foi concebido para o funcionamento cooperativo destes protocolos de rede e modos de controlo, podendo ser considerado como o núcleo do software IoT.

Foi adotada pelos autores a *framework* OSGi como a arquitetura de *middleware* do *gateway de router IoT*. A estrutura OSGi é a implementação das especificações do serviço, tal como definido pela organização, e construído sobre uma máquina virtual Java (Java VM). A estrutura OSGi implementa uma plataforma integrada dinâmica completa e as aplicações ou componentes que nela funcionam podem ser instalados, iniciados, parados, atualizados e eliminados remotamente sem reiniciar esta plataforma. A arquitetura OSGi consiste em três componentes: estrutura, pacote e serviço.

Os atuais equipamentos domésticos gerais não são diretamente compatíveis com a arquitetura IoT, por isso são necessários dispositivos de reconhecimento adicionais. Os autores concluíram num estudo prévio que, ao utilizar a tecnologia de reconhecimento de aparelhos elétricos, os atuais equipamentos domésticos podem ser identificados de acordo com as suas características elétricas sem dispositivos de reconhecimento adicionais. Foi concebido um único contador inteligente utilizando um sensor de corrente e um sensor de tensão em combinação com um microprocessador para medir os equipamentos. Após aplicar um processamento de lógica *fuzzy* da potência, a informação é lida através de um medidor inteligente e são extraídas as características de potência. Os equipamentos elétricos são classificados utilizando o modelo híbrido de classificação (SVM/GMM - *Support Vector Machine/ Gaussian Mixture Model*), de acordo com características como

valor máximo, valor mínimo, valor eficaz (RMS), contagem máxima e contagem mínima. Os eletrodomésticos que estão a ser utilizados podem assim ser reconhecidos e a sua informação pode ser comunicada aos utilizadores através de uma rede com ou sem fios.

Os autores desenvolveram ainda no seu *middleware* um componente de reconhecimento de atividades. A utilização de equipamentos elétricos permite refletir as atividades humanas. Os equipamentos utilizados em ambientes domésticos estão intimamente relacionados com as atividades humanas em casa e não são frequentemente alterados, assim, a construção do modelo de reconhecimento de atividades é viável. A relevância entre a utilização de aparelhos elétricos e as atividades humanas é construída neste modelo, que é utilizado para identificar as atividades atuais em casa, para saber que equipamentos podem estar sem uso e essa informação de ativos não-participantes pode ser devolvida ao utilizador para subsequente processamento. Os aparelhos elétricos que estão a ser utilizados sob o *router gateway IoT* podem ser conhecidos a partir do modelo de reconhecimento de aparelhos elétricos. O modelo de reconhecimento de atividade recolhe informação sensível ao contexto a partir da base de dados de contexto existente no *gateway*. O sistema de aprendizagem de atividades define e determina a relevância entre a atividade e o aparelho elétrico, que posteriormente armazena na base de dados de atividades. A arquitetura do modelo está representada na Figura 7.

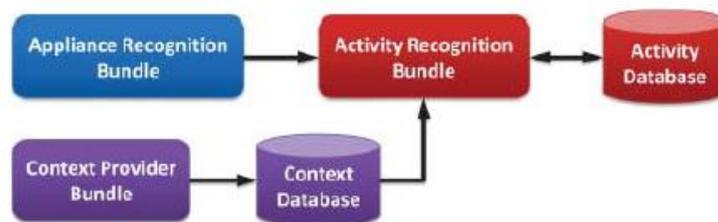


Figura 7 - Modelo de reconhecimento de atividades
(Cho et al., 2013)

A aplicação de *middleware* inteligente (*Application of Intelligent Middleware*) é também ela principalmente desenvolvida na *framework* OSGi e fornece informações relacionadas, incluindo sugestões para gestão de dispositivos e poupança de energia. A SOA (*Service-Oriented Architecture*) é considerada na conceção da plataforma de *middleware* onde o objetivo fundamental é reduzir os custos da arquitetura dispersa de integração de sistemas heterogéneos. A arquitetura mais popular de SOA é o serviço Web. A Figura 8 mostra a arquitetura fundamental de serviços Web e o padrão de interação de dados.

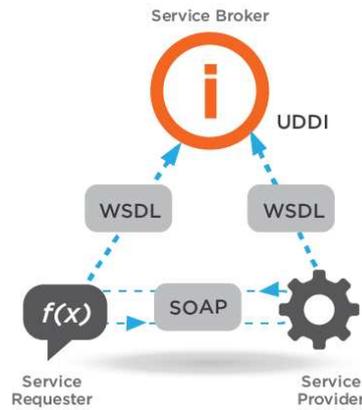


Figura 8 - Arquitetura de Web Services

Um *Service Provider* usa a Linguagem de Descrição de Serviços *Web* (WSDL - *Web Service Description Language*) para emitir serviços ao *Service Broker*, enquanto este utiliza especificações de UDDI (*Universal Description, Discovery and Integration*) para fornecer descrições de serviços para a solicitação ou descoberta de serviços. O *Service Requester* e o *Service Provider* constroem uma relação interativa, que é alcançada pelo protocolo SOAP (*Simple Object Access Protocol*).

Os autores avançaram também com um design desenvolvível utilizando a arquitetura SOA para definir a conceção e desenvolvimento da futura extensibilidade do sistema. Para alcançar a característica de SOA, foi desenhado o módulo *Service API*. A partir deste, o sistema de interface de gestão pode implementar o desenvolvimento de terminais, cuja arquitetura está exemplificada na Figura 9.

Este sistema está dividido em quatro APIs principais:

1. API de definição de informação de *gateway*;
2. API de *Plug and Play* da *gateway*;
3. API de descrição do serviço do dispositivo;
4. API de controlo do serviço do dispositivo.

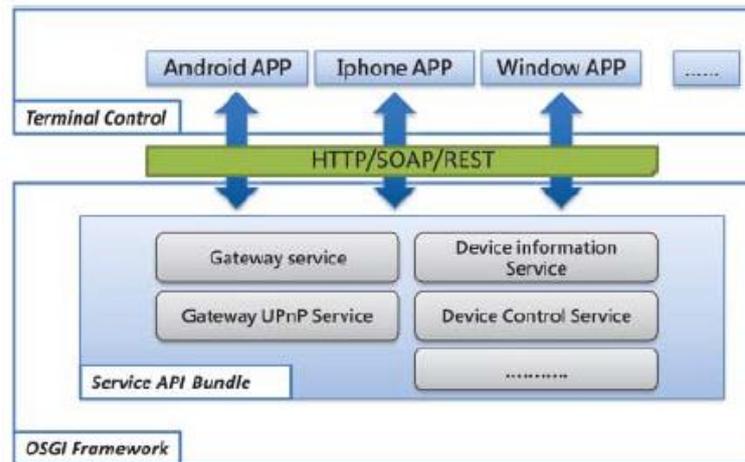


Figura 9 - Arquitetura de APIs
(Cho et al., 2013)

A API de definição de informações de *gateway* visa definir a *gateway do router IoT* ou obter as suas informações; a API de *Plug and Play* da *gateway* visa a função *Plug and Play* do *middleware*; a API de descrição de serviço do dispositivo e a API de controlo de serviço do dispositivo são descrições de dispositivo e modos de controlo registados na *gateway*.

Esta API foi desenhada com a possibilidade de expansão. As normas de intercâmbio de dados são principalmente de SOAP ou REST (*Representational State Transfer*). Considerando que os dispositivos finais trabalham em tempo real e a já larga utilização do protocolo, REST é o mais comumente aplicado. REST utiliza HTTP e URI (*Uniform Resource Identifier*) com modos de pedido adicionais, tais como GET, PUT, POST ou DELETE.

3.3. Implementação baseada no sistema SHMS em Singapura

(Li et al., 2018) propôs um novo sistema doméstico inteligente chamado *Self-learning Home Management System* (SHMS). Este modelo, exemplificado na Figura 10, prevê a utilização de uma rede de comunicação com vários dispositivos, denominados agentes. Inclui técnicas de classificação baseadas em regras no sistema de gestão do lado da oferta e da procura, com funções de *Machine Learning* em sistemas de gestão de energia doméstica.

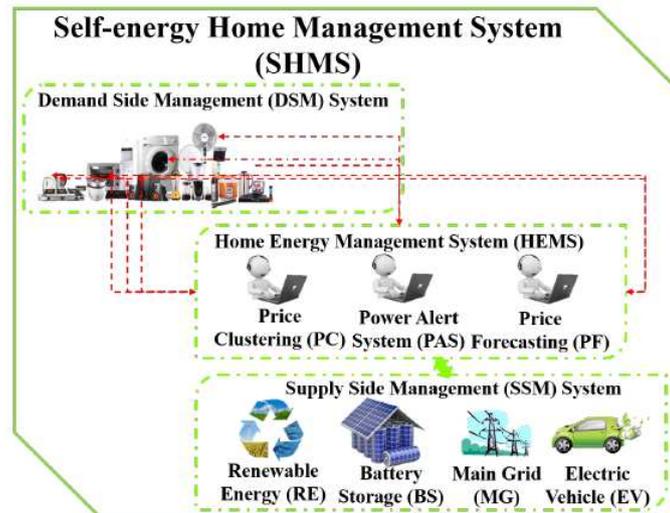


Figura 10 - Arquitetura do SHEMS
(Li et al., 2018)

O HEMS otimiza as unidades domésticas residenciais no conforto do consumidor, o custo da eletricidade e reduz a sobrecarga no fornecimento de energia. O Sistema SHMS utiliza o HEMS como principal decisor do sistema com os seguintes componentes:

- *Demand Side Management (DSM)*
- *Supply Side Management (SSM)*
- *Price Forecasting (PF)*
- *Price Clustering (PC)*
- *Power Alert System (PAS)*

O sistema *Demand Side Management (DSM)* controla a procura da arquitetura SHMS enquanto o sistema *SSM* controla o fornecimento de energia. O HEMS ativará o DSM e o SSM com base no processo definido pelo utilizador, que pode ser mais económico ou mais eficiente em termos energéticos. Com funções de aprendizagem da máquina tais como PF, PC e PAS, estes componentes constroem a capacidade de otimização residencial doméstica através de algoritmos ótimos de distribuição eléctrica.

O sistema *Demand Side Management (DSM)* recolhe e calcula o consumo total de energia dos eletrodomésticos a partir de tomadas inteligentes implementadas em dispositivos como por exemplo, computador, televisão, etc. Os dados das tomadas são pré-processados antes de serem implementados no sistema de gestão do lado da procura, como mostra a Figura 11. O procedimento de pré-processamento identifica o comportamento de utilização dos consumidores através do número de vezes que as

tomadas foram comutadas "ON" ou "OFF" e os dados de consumo de energia. Este processo gera uma lista de prioridades através da aprendizagem dos dados históricos do utilizador e assim permite personalizar cada lista de prioridades para diferentes utilizadores.

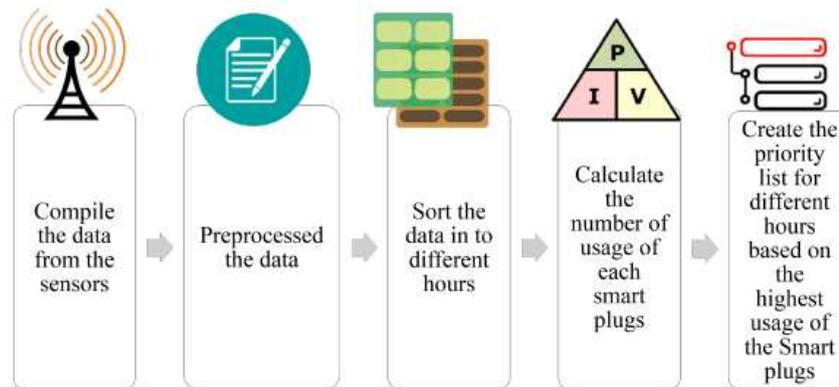


Figura 11 - Procedimento de pré-processamento
(Li et al., 2018)

O DSM proposto dá prioridade às tomadas inteligentes através da criação de uma lista de tomadas com a utilização mais elevada como a prioridade máxima. A prioridade mais baixa será comutada para "OFF" quando a procura de energia exceder a fonte de alimentação até que a procura volte a ser inferior à fonte de alimentação.

O sistema de *Supply Side Management* (SSM) otimiza o fornecimento do HEMS, utilizando os seguintes componentes:

- *Renewable Energy (RE)* - Energia gerada a partir de fontes renováveis;
- *Battery storage (BS)* - Armazenamento de energia para quando é necessária energia de emergência;
- *Main Grid (MG)* - Fornecimento de energia a partir da rede;
- *Electric Vehicle (EV)* - Fornecimento de energia de emergência a partir da sua bateria.

Os principais fatores de decisão são a necessidade de consumo da habitação e a fonte de energia renovável disponível. Se os utilizadores preferirem utilizar a energia do banco de baterias ou da bateria do veículo elétrico para suprir a procura, a ativação do HEMS é definida pelo utilizador. Quando a procura ainda excede a oferta, é apresentada uma opção para os utilizadores ativarem o processo DSM ou a procura passar a ser diretamente fornecida pela rede principal.

O *Price Forecasting* (PF) prevê antecipadamente os preços da eletricidade com dados históricos do passado. A previsão de preços é concebida utilizando o modelo LSTM-RNN (*Long Short Term Memory - Recurrent Neural Network*) para prever os preços da eletricidade (Kumar et al., 2018) como parte da função HEMS no SHMS.

O *Price Clustering* (PC) recolhe e reclassifica os preços da energia elétrica em horas de "Pico" e "Fora de Pico". A funcionalidade de agrupamento (*clustering*) de preços no HEMS foi concebida com a utilização do algoritmo *k-means*.

O *Power Alert System* (PAS) alerta o utilizador quando o consumo de energia está acima das expectativas. A função PAS ajuda os utilizadores a saber quando o seu consumo de energia ultrapassa a média de consumo com base nos seus dados históricos, o que lhes permite ter consciência de eventos inesperados, tais como o esquecimento de desligar algum equipamento ou avarias na rede que criem perdas de energia.

Capítulo 4 – Questões de metodologia

4.1. Design Thinking

O mundo tornou-se cada vez mais interligado e complexo desde que o cientista cognitivo e Prémio Nobel Herbert A. Simon mencionou pela primeira vez o *design thinking* no seu livro de 1969, *The Sciences of the Artificial*. Organizações do século XXI de uma vasta gama de indústrias consideram o *design thinking* como um meio valioso de resolução de problemas para os utilizadores dos seus produtos e serviços. (Interaction Design Foundation, 2022)

O *design thinking* pode ser um facilitador crítico das novas tecnologias, mas é também uma tecnologia por direito próprio - uma tecnologia social que encoraja conversas de inovação mais produtivas que são estrategicamente valiosas para a construção de capacidades dinâmicas. Ao ultrapassar as barreiras sociais e psicológicas nos processos de inovação, o *design thinking* acelera o progresso sobre imperativos críticos: permitindo aos inovadores sentir novas oportunidades; aproveitá-las ultrapassando os preconceitos cognitivos e alinhando as partes interessadas; e transformar e reconfigurar recursos (Liedtka, 2020).

É uma metodologia que proporciona uma abordagem baseada na solução para a resolução de problemas. É extremamente útil quando usada para resolver problemas complexos que são mal definidos ou desconhecidos, principalmente porque serve para compreender as necessidades humanas envolvidas, reestruturar o problema de forma centrada no ser humano, criar inúmeras ideias em sessões de brainstorming e adotar uma abordagem prática à prototipagem e aos testes.

O *Hasso Plattner Institute of Design de Stanford* descreve o *design thinking* como um processo em cinco fases. Estas fases nem sempre são sequenciais e as equipas muitas vezes executam-nas em paralelo, fora de ordem e repetem-nas iterativamente, como representado na Figura 12.

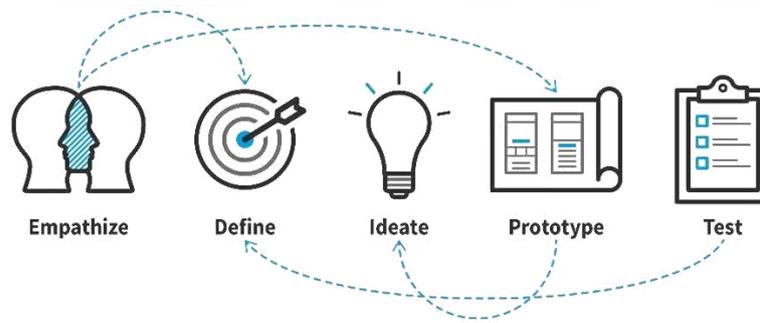


Figura 12 - As 5 fases do Design Thinking
(Interaction Design Foundation, 2022)

Fase 1: Enfatizar – Pesquisar as necessidades dos utilizadores

O principal objetivo é compreensão empática do problema que está a tentar resolver através da pesquisa de utilizadores. A empatia é crucial para um processo de design centrado no ser humano, porque permite pôr de lado os pressupostos individuais sobre o mundo e ganhar uma perceção real dos utilizadores e das suas necessidades.

Fase 2: Definição – Indicação das necessidades e problemas dos utilizadores

Sistematização da informação recolhida durante a fase 1. Análise das observações para definir os problemas centrais. Estas definições são as declarações de problemas.

Fase 3: Idealizar - Desafiar suposições e criar ideias

A base de conhecimentos das duas primeiras fases significa que se pode começar a "pensar fora da caixa", procurar formas alternativas de ver o problema e identificar soluções inovadoras para a declaração do problema. Nesta fase atividades de *brainstorming* são particularmente úteis.

Fase 4: Prototipar - Criar soluções

Esta é uma fase experimental. O objetivo é identificar a melhor solução possível para cada problema encontrado. Podem ser produzidas algumas versões mais simples e em escala reduzida do produto para permitir investigar as ideias geradas.

Fase 5: Testar as soluções

Fase em que se testam os protótipos. Não deve ser encarada como a fase final, pois o *design thinking* é iterativo. Os resultados podem ser usados para redefinir mais problemas adicionais e desta forma regressar às fases anteriores para mais iterações, alterações e ajustes.

Estas fases são modos diferentes que contribuem para todo o projeto de conceção e não etapas sequenciais. O objetivo ao longo do processo é obter uma compreensão mais profunda dos utilizadores e de qual seria a sua solução ou produto ideal.

4.2. Metodologia PAwEn

Esta abordagem foi desenvolvida como parte de um projeto de investigação chamado PAwEn (*People-Aware Environment*) do Instituto de Sistema de Informação do HES-SO Valais na Suíça, conduzido por uma equipa interdisciplinar composta por engenheiros, *designers* de serviços e UX (*User Experience*) *designers*.

Segundo (Fauquex et al., 2015), o desafio era adaptar cada passo da metodologia de uma perspetiva da Internet das Coisas (IoT). Os princípios de conceção não são os mesmos que para uma aplicação padrão onde o utilizador tem à sua frente um dispositivo físico que atua como uma interface concreta. Mesmo os produtos IoT atuais, como por exemplo sensores inteligentes, vêm com uma interface clássica, tal como uma aplicação web ou móvel. A interação é diferente porque existem muitos dispositivos IoT que não só comunicam com um ou muitos utilizadores, mas também entre eles. Além disso, como um ambiente inteligente tem de ser tão natural quanto possível para ser utilizado pelas pessoas e, portanto, não ser intrusivo, é necessário considerar novas formas de interações. A metodologia PAwEn, conforme a Figura 13, foi estabelecida através da combinação de dois níveis: *design thinking* e *design* centrado no utilizador, e desta forma dividido em sete fases.

Nesta metodologia, o *design thinking* é sobretudo a criação da ideia e contém duas fases: Descoberta e Captura. Primeiro são identificados os utilizadores e determinado um contexto para criar alguma visão do produto. Na primeira fase, não existe preocupação com questões tecnológicas. Estas duas primeiras fases são importantes para iniciar o processo de desenvolvimento da forma mais ampla possível para capturar todo o contexto e todos os elementos que o compõem. É particularmente importante no desenvolvimento de um produto IoT uma vez que o produto não será um dispositivo isolado, mas sim uma parte de todo um ecossistema. A abordagem de funil a este nível permite considerar todo o ambiente alvo e identificar uma visão do produto que se enquadre. Uma vez definida a visão do produto, este passará por um ciclo mais clássico baseado em UX que é ilustrado

na parte inferior da Figura 13. Este ciclo contém cinco etapas: investigação, conceção, protótipo, avaliação e afinação e progride de forma iterativa.

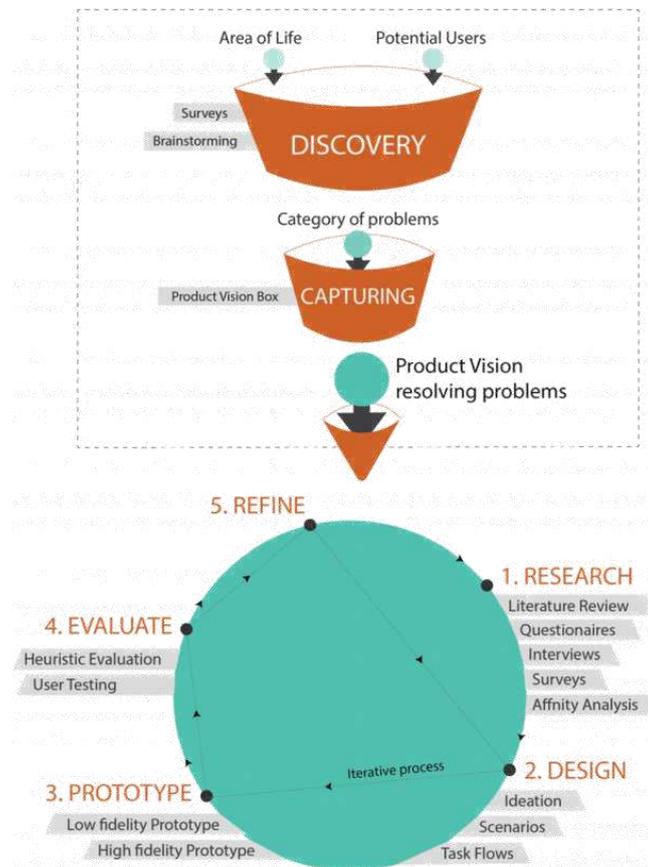


Figura 13 - A metodologia PAwEn (Fauquex et al., 2015)

Esta metodologia foi também tida em consideração no âmbito deste estudo, pois a sua proximidade com o desenvolvimento de sistemas de IoT e a forma como explora as primeiras fases, exemplificam as questões de metodologia seguidas e que levaram a realização de uma sessão de *focus group*. Com maior detalhe na abordagem PAwEn e por proximidade ao estudo, é detalhada a fase de descoberta (*Discovery*):

A descoberta é a fase em que se procura junto dos utilizadores o contexto do futuro produto que se pretende desenvolver. Esta etapa consiste principalmente em estabelecer alguns limites soltos dentro dos quais se pretende identificar os problemas encontrados. Os dois principais contributos desta etapa são os seguintes:

Area of life: O contexto em que os seus potenciais utilizadores evoluem (por exemplo, no contexto profissional: um escritório ou um estaleiro; no contexto doméstico: uma habitação unifamiliar, etc.)

Potential users: São as pessoas que encontram no contexto definido. Começar por definir um contexto e potenciais utilizadores ajuda a ter em mente que a aplicação final das soluções IoT serão parte de todo um ambiente e não será um dispositivo isolado a funcionar por si. Uma vez definidos os *inputs*, várias técnicas são aplicadas para recolher informação dos utilizadores.

Não se recorrendo a *surveys* no presente estudo, foi implementada a técnica de *brainstorming e focus group*. Foram convidadas para participar numa sessão 4 pessoas com proximidade ao tema do trabalho, todas com um mínimo de experiência em utilização de dispositivos IoT e com soluções de microprodução de energia solar fotovoltaica.

4.3. Sessão de *focus group*

Foi conduzida uma sessão de *focus group* com a duração de uma hora e vinte minutos, onde se dedicaram os primeiros cinco minutos à definição dos objetivos e se detalhou as condições de execução da sessão.

Durante a sessão, as respostas foram anotadas e filtradas. As respostas fora do âmbito foram retiradas e as restantes foram classificadas de acordo com as questões:

1. De que forma veem a domótica a contribuir para a otimização do consumo de energia?

Principais respostas:

- Domótica sozinha não traz resultados;
- Colmata o utilizador nas suas tarefas diárias;
- É um mecanismo centralizador de informação;
- A concentração e dados é importante para usar como referência e mecanismo de comparação com outros utilizadores, ajudando a conhecer o perfil de consumo considerado “normal”;
- A domótica pode ajudar a estabelecer o equilíbrio entre consumo e produção;
- Reconhecimento da importância da sensorização como meio de feedback autónomo do sistema inteligente, que remete para:

- Vantagens da tomada de decisão autónoma do sistema para conduzir a otimização do consumo e melhor aproveitamento energético.

2. Na vossa ótica, como é possível rentabilizar o custo financeiro de implementar domótica?

Principais respostas:

- Com viabilidade e com retorno a médio prazo;
- Se forem considerados os benefícios além dos financeiros, nomeadamente conforto, lazer e segurança, pode potenciar um sentido de retorno de investimento mais rápido;
- Sem o fator energia e segurança, o sentimento de retorno já é quase nulo;
- O retorno do investimento em domótica é diretamente dependente da expectativa do utilizador final.

3. Quais os casos de usos que acreditam ter melhor rentabilidade?

Principais respostas:

- Ativação/desativação durante o dia dos equipamentos, de forma a potenciar a otimização energética e evitar o desperdício;
- Domótica para gestão eficiente de águas quentes sanitárias;
- Domótica associada à climatização;
- Obter, guardar e correlacionar dados reais de consumo ajuda à consciencialização dos utilizadores, que leva a:
- Recurso à “gamificação” para potenciar o conceito de sustentabilidade energética.

4. Como pode ser potenciada a venda e utilização de energia solar fotovoltaica se for apresentada ao utilizador em conjunto com um sistema de gestão inteligente de energia?

Principais respostas:

- A valorização instantânea do consumo ajuda à consciencialização;
- Vender o conceito pelo mecanismo da poupança;

- Utilizar medidas técnicas e comerciais para reduzir o tempo de retorno do investimento, tendo em consideração o esforço de manutenção não controlado nestas tecnologias;
- Identificar a importância da pegada carbónica individual e aplicar incentivos governamentais nesse sentido, como por exemplo medidas fiscais aplicadas ao IMI ou ao IRS;
- Implementação de legislação que reforce ou obrigue a adoção de sistemas inteligentes de gestão de energia nas novas construções;

5. De que forma as questões de segurança (cibersegurança, risco por manipulação do quadro elétrico, alteração dos pontos de fornecimento de energia elétrica como tomadas, etc.) podem desincentivar a adoção da domótica? E o que pode ser feito para inverter esse sentido?

Principais respostas:

- A segurança não tem de ser vista só como risco, pode ser um promotor de adoção da tecnologia, se aliada à sensorização e CCTV;
- Considera-se que existe pouca consciencialização dos riscos. O conforto e o efeito novidade sobrepõe-se ao conhecimento dos riscos;
- Legislação adequada pode aumentar e suportar o sentimento de confiança, garantindo normas de fabrico de equipamentos IoT, assim como a origem de fabrico e homologação, pois a orientação para o custo de aquisição pode adicionar riscos de segurança;
- Uma correta sensibilização de custo vs. qualidade pode aumentar o sentimento de segurança;
- Criação de apólices de seguros habitação e recheio que ainda não contemplam estas matérias também se podem revelar um mecanismo de suporte à adoção;
- Para o consumidor com maior sensibilização tecnológica, a adoção de domótica pode ter mais resistência em determinados segmentos de produtos, como câmaras, reconhecimento de voz e geolocalização, principalmente por questões de privacidade.

6. Como podem as Smart Grids e a domótica contribuir para a sustentabilidade energética? Principalmente se considerarmos um ecossistema de partilha de produção e consumo de forma comunitária?

Principais respostas:

- O sentimento de energia comunitária não tem fácil aceitação. A necessidade de poder haver detrimento de um utilizador em prol do outro ainda causa reações adversas;
- Antevê-se dificuldade de gestão por parte dos diferentes utilizadores, pois para um sistema equilibrado, encontra-se a necessidade de homogeneizar os consumidores, fosse em dimensão das habitações, fosse na quantidade ou tipo de eletrodomésticos;
- Uma alternativa para viabilizar o ecossistema seria a implementação de tetos de consumo a partir dos quais os utilizadores seriam obrigados a consumir diretamente da rede de energia;
- A implementação de sistemas de monetização ou incentivos para ajudar a equilibrar o consumo entre todos os consumidores;
- Considera-se ainda que os requisitos mínimos ou básicos como aquecimento de AQS ou mínimos de energia para a conservação ou confeção de alimentos podem inviabilizar este sistema.

Capítulo 5 – Modelo de Sistema de Informação

Com base nas questões de metodologia apresentadas e com a contribuição das ideias resultantes do *focus group*, pretende-se, neste capítulo, apresentar casos de utilização de domótica que contribuem para a consciencialização e também para a eficiência energética. Desta forma pretende-se materializar e prototipar alguns mecanismos de automação, com recursos a dispositivos de IoT e a um SHEMS, construindo um modelo de sistema de informação e evidenciando desta forma a possibilidade de tomar ações baseadas em custos energéticos, com conseqüente crescimento da consciência ambiental.

As necessidades domésticas variam entre casas inteligentes, para o projeto em estudo foram consideradas algumas das mais comuns como a climatização, seja arrefecimento ou aquecimento interior, consumo de energia e iluminação.

Nestes casos de uso, por falta de condições tecnológicas relacionadas com a existência de painéis solares fotovoltaicos, não é possível simular comportamentos baseados em fontes de energia, no entanto, todos os casos de uso estão relacionados com eficiência energética e podem ser extrapolados para cenários com utilização paralela de fontes de energia diferentes, tendo por base algoritmos de decisão.

5.1. Ambiente de testes

Para o desenvolvimento do ambiente de testes do SHEMS foram usadas duas plataformas de automação, o software Home Assistant instalado num Raspberry Pi, onde foram desenvolvidos os casos de uso e a plataforma Samsung Smartthings, utilizada como Hub para conectar dispositivos que utilizam o protocolo ZigBee.

O Home Assistant é uma plataforma *Open-Source* que permite o controlo de dispositivos inteligentes direcionados para a domótica. De forma muito resumida, esta plataforma é responsável por enviar as ordens a todos os dispositivos IoT que nela estão ligados. O SmartThings é um dispositivo da Samsung criado especialmente para o controlo de vários equipamentos domésticos que disponham de tecnologias inteligentes e estejam conectados em rede. Pode assumir as funções do Home Assistant mas é mais limitado nas suas fontes e protocolos estabelecidos.

Além destes equipamentos, o ambiente de testes está dotado de infraestrutura de rede física e wireless para interligar todos os equipamentos e é exposto à internet através de

uma *firewall* UTM (*Unified Threat Management*), assegurando assim uma camada de segurança ao ambiente.

As figuras abaixo demonstram os equipamentos utilizados no protótipo do SHEMS.

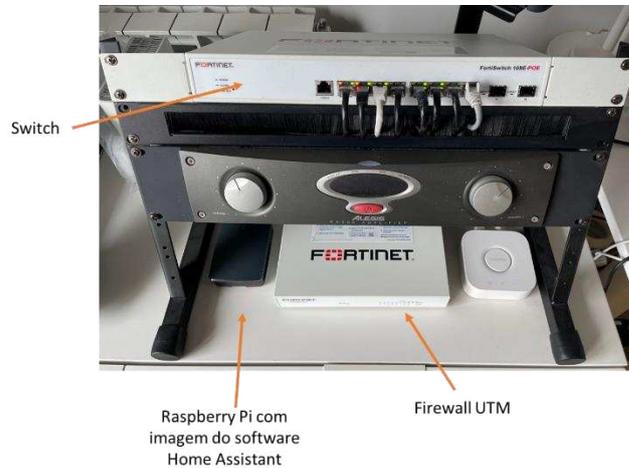


Figura 14 - Switch, Firewall UTM e Hub Home Assistant



Figura 15 - Hub Samsung Smartthings

O SHEMS precisa de recorrer a redes de comunicação fiáveis para obter com sucesso dados de consumo de energia, de comportamento do utilizador e dos sensores, bem como garantir com eficácia que as mensagens de comando são entregues aos atuadores dos casos de uso. (Machorro-Cano et al., 2020)(Machorro-Cano et al., 2020)(Machorro-Cano et al., 2020)

A camada de comunicação ajuda os utilizadores a controlar os dispositivos domésticos, tanto de forma inteligente como eficiente. O principal objetivo desta camada é recolher informação dos diferentes dispositivos IoT instalados. Estes dados fornecem informações sobre a habitação, tais como o consumo de energia, temperatura ambiente, movimento e temperatura do ar condicionado ou aquecimento. A Figura 16 ilustra os principais fluxos do SHEMS na camada de comunicação.

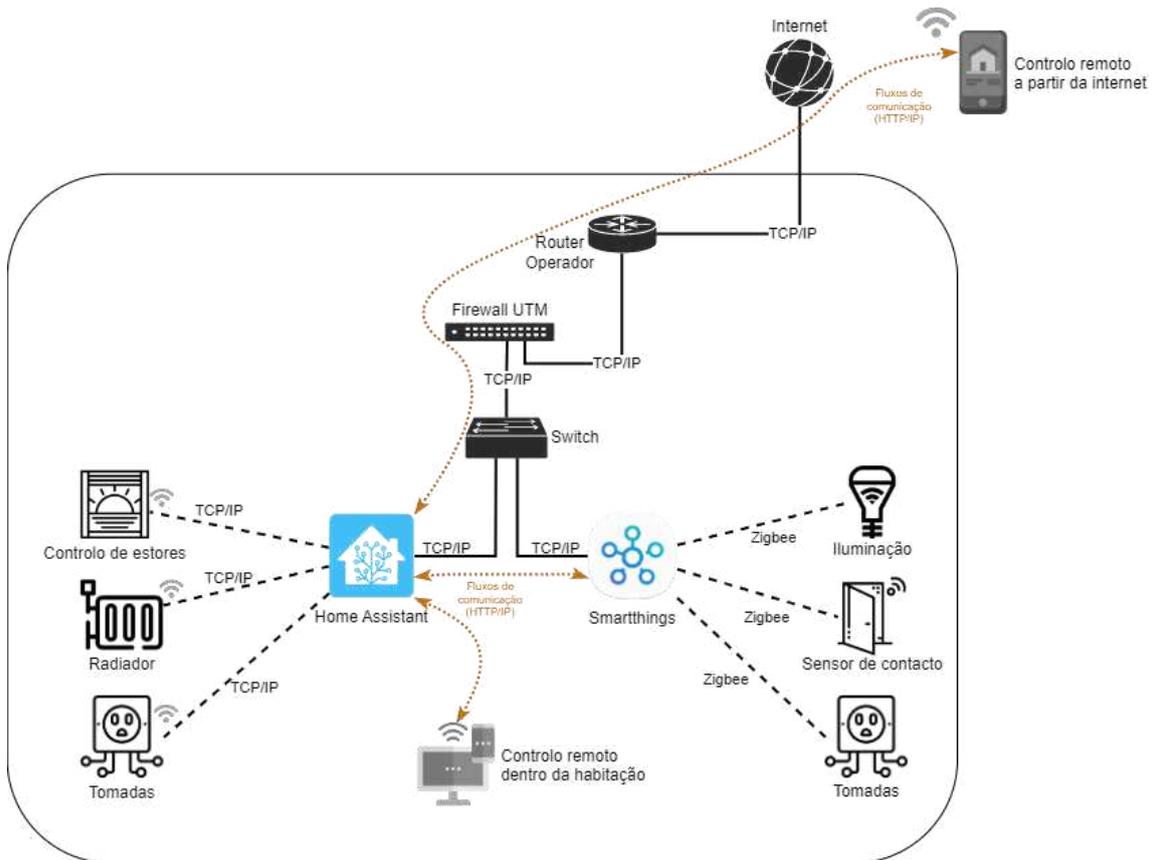


Figura 16 - Arquitetura IoT da habitação

Os sensores são um elemento-chave na monitorização inteligente. Ao recolher informação em tempo real, os sensores permitem ao SHEMS analisar estados e correr programações predefinidas. Os utilizadores têm a possibilidade de visualizar e monitorizar esta informação também em tempo real e fazer os ajustes necessários para poupar energia.

Não tendo sido possível complementar este protótipo com informação das diferentes fontes de energia, é importante identificar no âmbito deste estudo que as plataformas escolhidas permitem esse desenvolvimento adicional. No Anexo A estão exemplos de alguns *dashboards* que evidenciam a recolha de dados de consumo e produção, dados esses que podem ser combinados com os automatismos criados de forma a permitir a tomada de decisão do sistema com função na produção.

Interligar o inversor do sistema de painéis solares fotovoltaicos com o *software* Home Assistant, permite ter informação em tempo real da produção de energia elétrica, conforme se pode visualizar na Figura 17 e ativar ou desativar equipamentos domésticos com base nessa informação.

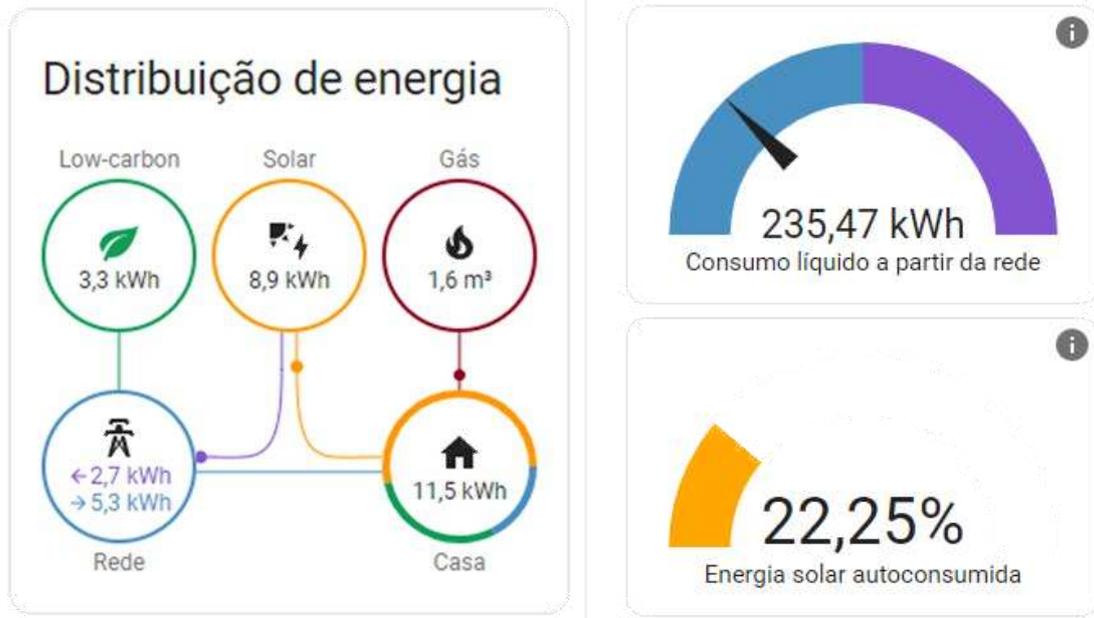


Figura 17 - Dashboards Home Assistant - Distribuição de energia numa habitação

5.2.Casos de uso

5.2.1. Eficiência energética nas soluções de aquecimento

Neste caso pretende-se demonstrar que com recurso a sensores de contacto colocados em portas e/ou janelas é possível tomar ações sobre as fontes de calor. Nesta simulação estuda-se um dos cenários mais comuns de desperdício de energia relacionado com a climatização e que deriva do facto de ficarem portas ou janelas abertas durante o período em que os dispositivos de climatização estão a trabalhar, sejam como no exemplo em concreto, caldeiras de aquecimento central, sejam situações que recorrem a outras fontes de aquecimento ou arrefecimento, tipicamente ar condicionado.

Para a construção deste caso foi usado um sensor de contacto sem fios ZigBee da marca Sonoff, modelo SNZB-04, conforme Figura 18.



Figura 18 - Sensor de contacto Sonoff

Os atuadores deste cenário são compostos por três peças interligadas entre si, da marca Legrand, modelo Netatmo, o termostato inteligente (Figura 19) conectado ao relé Netatmo por radiofrequência, que por sua vez envia comandos *on/off* para a caldeira de aquecimento. O relé está conectado à internet via Wi-Fi e pode ser controlado remotamente. É por meio de API que este relé se interliga com o SHEMS de testes, através da internet. O terceiro componente que atua também no sistema é uma válvula termostática inteligente (Figura 20) que também se conecta ao relé por radiofrequência, estando também disponível para controlo remoto tal como o termostato.



Figura 19 – Termostato inteligente Netatmo



Figura 20 - Válvula inteligente de radiador Netatmo

O diagrama de fluxo da Figura 21 pretende descrever o comportamento deste automatismo.

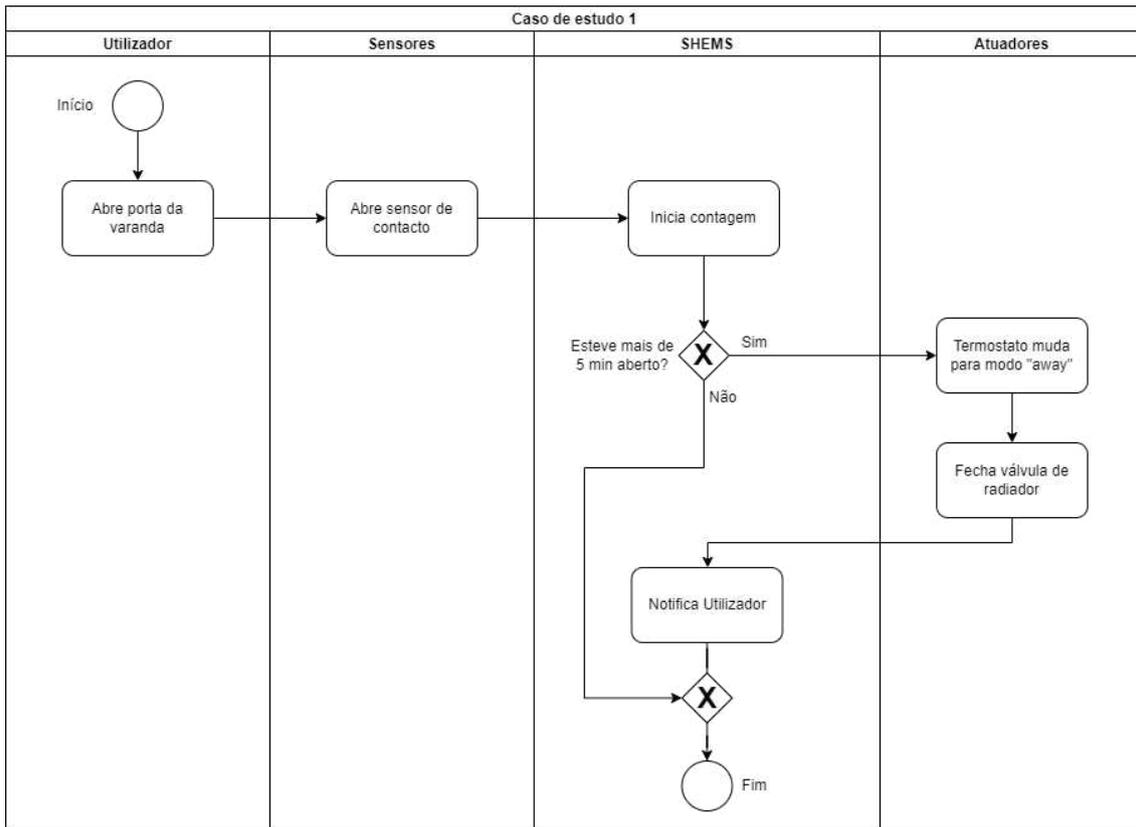


Figura 21 - Diagrama de fluxo do caso de uso 1

Caso a porta se mantenha aberta por mais de 5 minutos, o SHEMS envia informação ao termóstato que deve estar em modo “away”. Este modo baixa automaticamente a temperatura de *set point* e dá instrução de fecho à válvula do radiador da divisão onde se encontra. Caso a porta permaneça aberta menos de 5 minutos o SHEMS ignora, não efetuando nenhuma ação. No Apêndice C pode ser analisada a configuração do sistema em modo gráfico na Figura 37 e o seu código fonte respetivo na Figura 38.

O sistema envia ainda um alerta ao utilizador a informar qual a porta aberta e da ação que foi tomada, conforme pode ser visto na Figura 22.

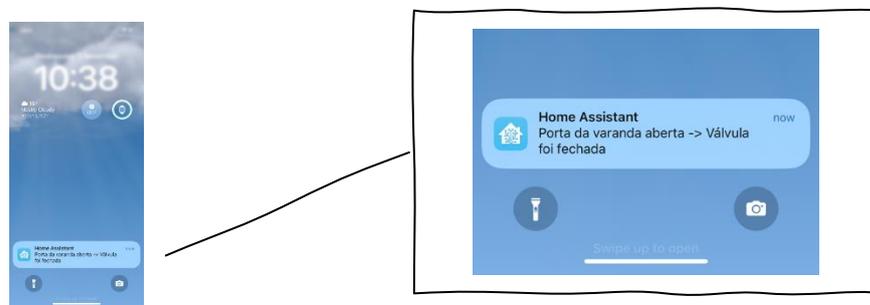


Figura 22 - Caso de uso 1 - mensagem do SHEMS

Este caso de uso pode ser aplicado a diferentes atuadores de fontes de climatização e poder ser complementado com base na fonte de energia em questão, podendo, por

exemplo, privilegiar a utilização de energia solar fotovoltaica durante o pico de produção para arrefecer ou aquecer a habitação, evitando assim o consumo de energia da rede. Os *set points* podem ainda ser manipulados pelo SHEMS tendo em consideração períodos horários. Este caso de uso pode também ser complementado com informação da ocupação da habitação, podendo apenas atuar se estiver alguém em casa, através de sensores de presença.

5.2.2. Eficiência energética nas soluções de climatização

Foi identificado também este caso de uso, que apesar de relacionado com a climatização da habitação, está mais focado na automação de modo preventivo e consegue produzir efeitos de poupança energética. Nesta automação pretende-se ativar o fecho de estores motorizados sempre que a temperatura interior da habitação atingir um determinado valor. Desta forma, é possível evitar o sobreaquecimento da habitação e em simultâneo que exista posteriormente a necessidade de ativação de sistemas de arrefecimento que consomem mais energia. É uma simulação pertinente, particularmente em países de boa exposição solar como é o caso de Portugal, e permite com baixo custo de investimento em IoT, produzir efeitos de forma rápida.

Foram utilizados na medição de temperatura dois sensores, um da marca Samsung Smartthings, modelo GP-U999SJVLAEA funciona com o protocolo de comunicações ZigBee e outro da marca Shelly, modelo H&T que funciona com recurso à rede Wi-Fi, ambos apresentados na Figura 23.



Figura 23 - Sensores de temperatura

Para esta automação os atuadores são todos iguais, da marca Shelly, modelo 2.5, que através da rede Wi-Fi recebem os comandos do SHEMS.

Esta comunicação é toda realizada através da rede local, sem recurso a internet, para receber a informação dos sensores e fazer atuar os relés. As mensagens podem ser de abrir ou fechar, mas permitem também maior granularidade de controlo, como é o caso apresentado, em que apenas se pretende fechar parcialmente os estores motorizados, permitindo assim entrar luz, mas cortar o excesso de calor.

Na Figura 24 estão demonstrados os vários componentes de instalação, que permitem não só o controlo remoto como mantêm o controlo local para facilitar a sua utilização.



Figura 24 - Relé de comando dos estores

O diagrama de fluxo da Figura 25 pretende descrever o comportamento deste automatismo.

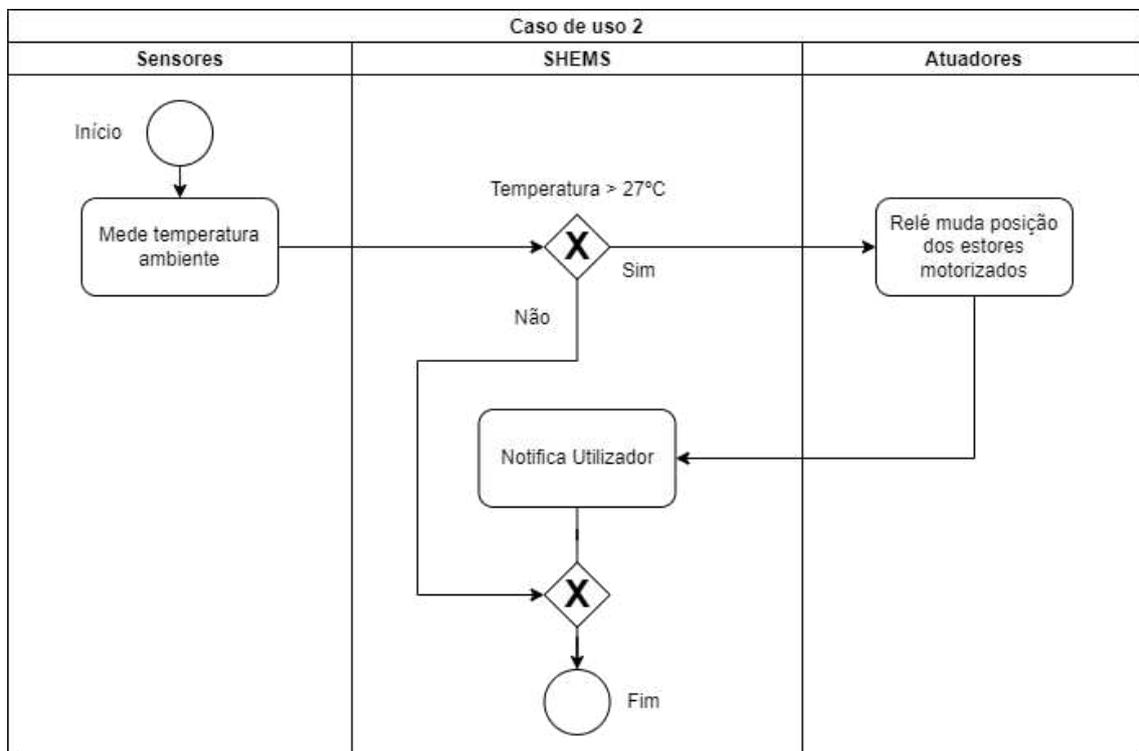


Figura 25 - Diagrama de fluxo do caso de uso 2

Existem dois sensores de temperatura colocados em dois quartos distintos, quando o primeiro dos dois sensores medir uma temperatura ambiente da divisão superior a 27°C ativa o SHEMS, que por sua vez ativa os relés dos estores motorizados. Estes relés estão calibrados para que seja conhecida a sua posição numa escala de 0 a 100%, correspondendo o zero a totalmente fechados e cem a totalmente abertos. Cada um dos relés tem uma posição de destino que está relacionada com o facto de nuns casos se tratar de uma porta e noutros de uma janela. Enquanto a temperatura não atingir o valor predefinido, o sistema não faz nada. No Apêndice D pode ser analisada a configuração do sistema em modo gráfico na Figura 39, Figura 40 e Figura 41 bem como o seu código fonte na Figura 42.

O sistema envia ainda um alerta ao utilizador a informar da ação, conforme pode ser visto na Figura 26.

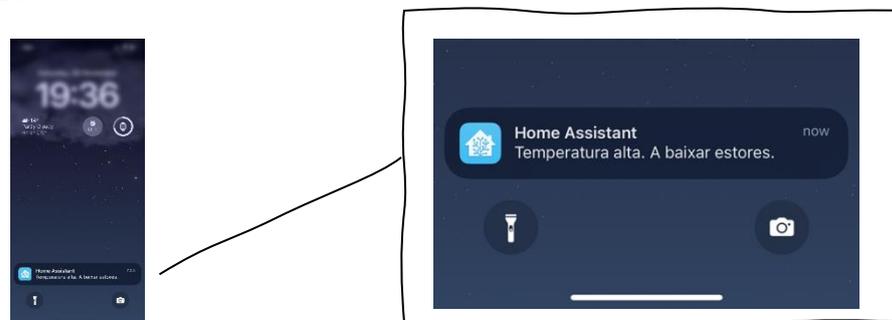


Figura 26 - Caso de uso 2 - mensagem do SHEMS

5.2.3. Eficiência energética nas soluções de iluminação

O caso de uso 3 foi considerado no estudo para demonstrar não só os ganhos de eficiência energética diretos que se podem obter com uma boa gestão da iluminação, mas para apresentar também um cenário em que apenas com recurso à programação do SHEMS é possível desenvolver cenários de automação. Neste caso, com recurso a contadores internos do SHEMS foi desenvolvido um cenário em que se a iluminação se mantiver ligada mais do que tempo determinado, a mesma é apagada de forma automática. Este caso pode ser complementado por sensores de presença e por sensores de iluminação, permitindo aumentar a complexidade e funcionalidades do mesmo.

Na Figura 27 encontra-se o único dispositivo de IoT desta automação, um Relé da marca Shelly, modelo 1, que funciona sobre a rede local Wi-Fi.



Figura 27 - Relé de controlo de iluminação

Sempre que o utilizador pressiona o interruptor uma vez e de forma natural, a iluminação acende-se e o SHEMS inicia um contador de dez minutos. Este contador é o que determina o momento em que a iluminação será desligada de forma a evitar esquecimentos ou consumos acima do necessário. Mas nem sempre a necessidade do utilizador é pontual e se a permanência numa determinada divisão necessitar de uma duração superior a dez minutos, é possível pausar o contador para evitar que a iluminação se desligue, bastando para isso, no momento em que pretende acender a iluminação, manter o botão pressionado por mais de cinco segundos.

Quando se pretende terminar a utilização, é pressionado novamente o botão que além de desligar a iluminação dá informação ao SHEMS para cancelar o contador ativo. Isto acontece também no caso em que o contador foi colocado em pausa, para assegurar que na próxima utilização, o contador começa sempre a zero. No Apêndice E pode ser analisada a configuração do sistema em modo gráfico na Figura 43, Figura 45 e Figura 47 bem como o seu código fonte na Figura 44, Figura 46 e Figura 48.

O diagrama de fluxo da Figura 28 pretende descrever o comportamento deste automatismo.

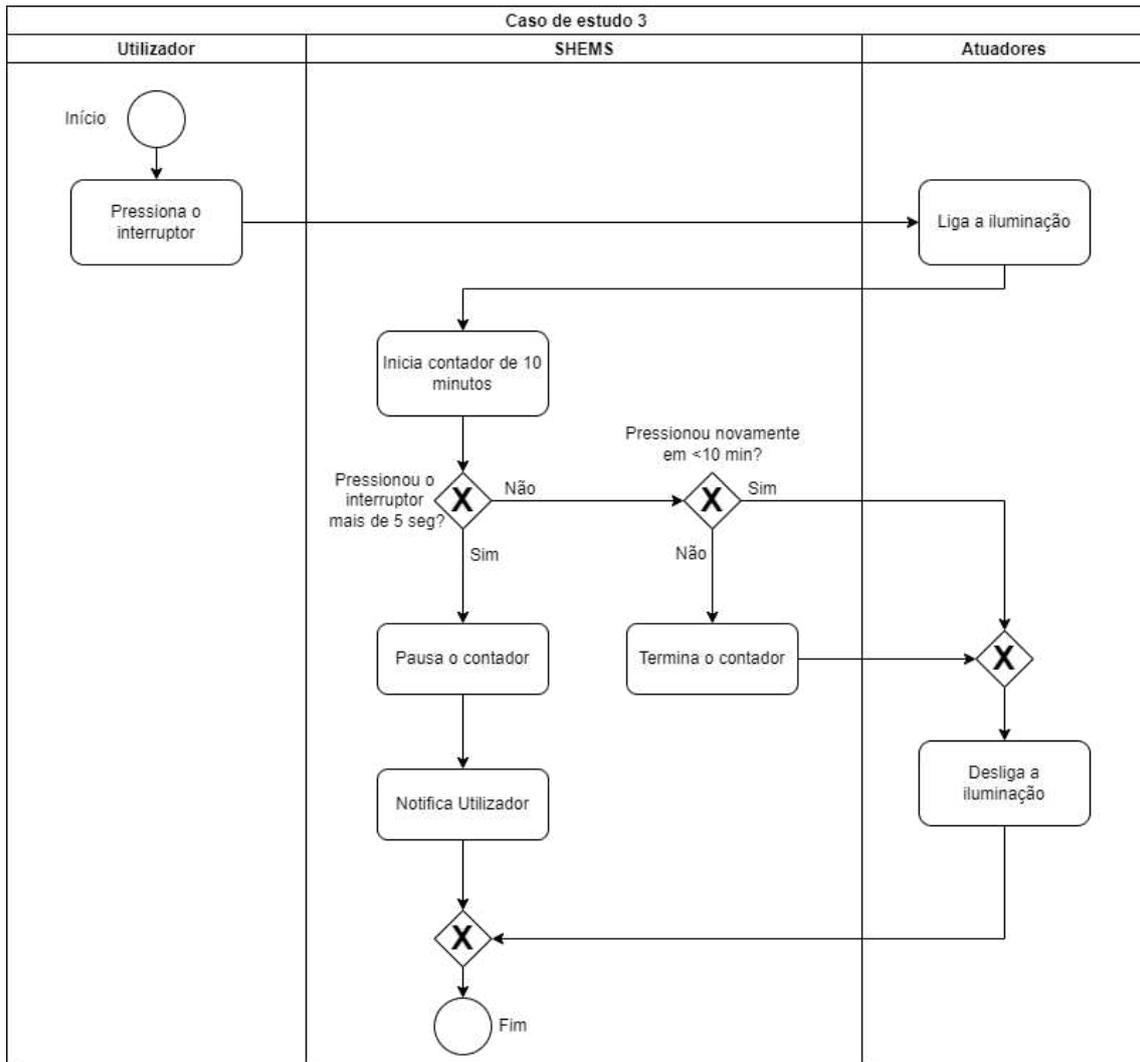


Figura 28 - Diagrama de fluxo do caso de uso 3

Também neste caso de uso existe uma notificação ao utilizador no momento em que o contador é colocado em pausa, que permite sensibilizar e consciencializar para o facto de que a iluminação não se irá desligar de forma automática. A Figura 29 exemplifica a referida notificação.



Figura 29 - Caso de uso 3 - mensagem do SHERMS

5.2.4. Eficiência energética no consumo de eletricidade

Com este caso de uso pretende-se apresentar a domótica como um mecanismo auxiliar de segurança em complemento da vertente energética e ambiental. A solução preconizada utiliza um único dispositivo IoT como sensor e atuador em simultâneo. Neste cenário de automação, foi colocado um equipamento de medição e controlo entre a alimentação do quadro elétrico e um termoventilador. O dispositivo IoT está dotado da capacidade de medição de intensidade de corrente bem como da tensão aplicada, permitindo-lhe desta forma calcular a potência consumida em Watt-hora (Wh). Analisando a chapa de características de um determinado equipamento ou o seu manual de instruções é possível identificar a sua potência em funcionamento normal e com estes dados criar no SHERMS um automatismo que verifica se o equipamento está a consumir mais do que o suposto, atuando através do corte de energia e informado os utilizadores. O diagrama da Figura 30 pretende demonstrar o automatismo implementado.

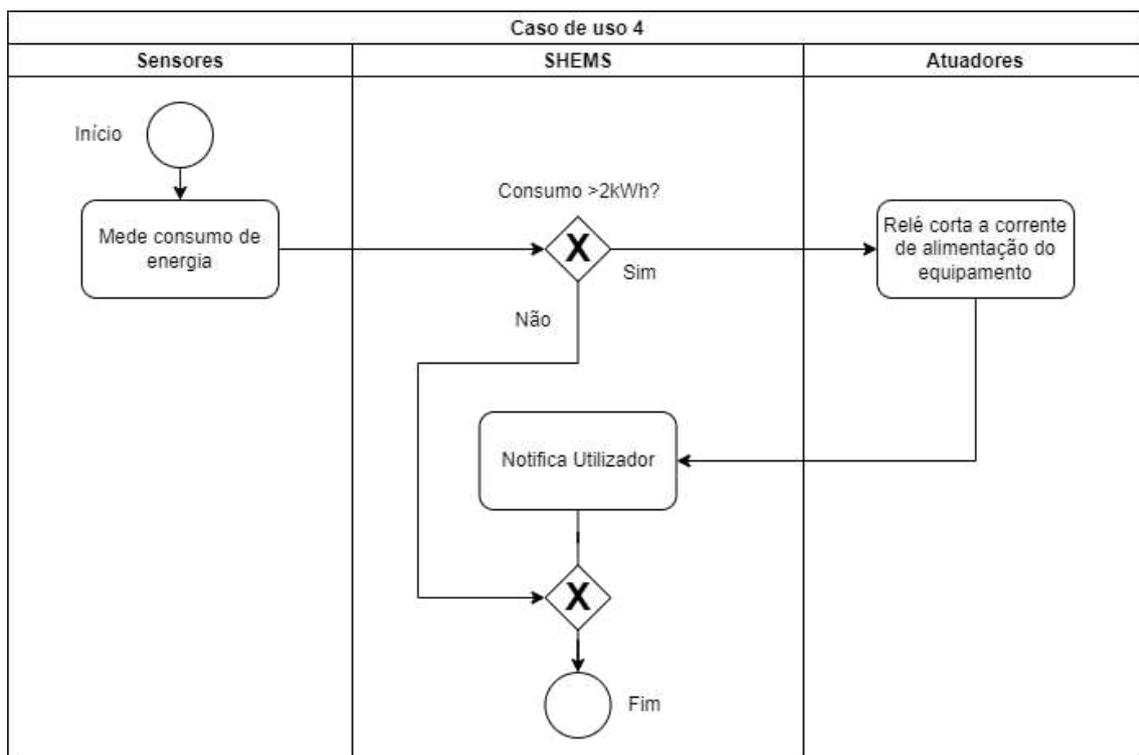


Figura 30 - Diagrama de fluxo do caso de uso 4

Não só existe um fator de poupança energética como também de segurança, caso o sobreaquecimento ou consumo excessivo por motivo de anomalia, dê origem a algum incidente.

Neste caso de uso foi utilizado um relé da marca Shelly, modelo 1PM que funciona na rede local através de Wi-Fi e que se encontra representado na Figura 31.

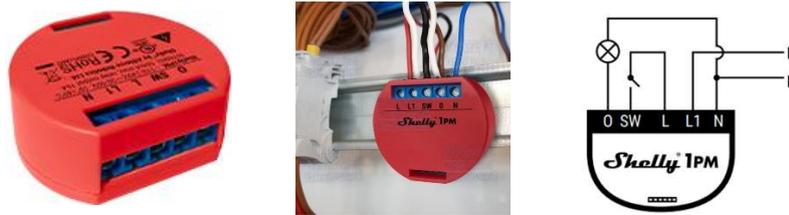


Figura 31 - Sensor e relé de comando

No Apêndice F, na Figura 49 e Figura 50 encontra-se a configuração do sistema em modo gráfico bem como o seu código fonte, que suportam o diagrama de fluxo apresentado na Figura 30.

Como nos restantes protótipos, foi implementada uma mensagem de notificação ao utilizador que alerta para a situação ocorrida, como pode ser observado na Figura 32.



Figura 32 - Caso de uso 4 - mensagem do SHEMS

Capítulo 6 – Conclusões

6.1.Principais conclusões

Este trabalho centrou-se em desenvolver o conceito de um sistema de informação que permitisse conjugar soluções de domóticas e diferentes fontes de energia, com especial ênfase na energia solar fotovoltaica, com o objetivo de identificar de que forma se pode aumentar a consciência energética e ambiental.

Os primeiros passos passaram pela revisão da literatura, onde se identificaram os principais conceitos de energia solar fotovoltaica e a sua importância nos dias que correm, tanto pelas razões climáticas como pela constante subida dos custos com energia, e onde foi identificado o modelo conceptual usado neste tipo de instalações. Na investigação da temática relacionada com a domótica e depois de se analisar a sua breve história, pretendeu-se dar a conhecer as arquiteturas típicas de um sistema inteligente de gestão de energia para habitações, as suas variantes e as suas principais funcionalidades.

Para enriquecer este trabalho foram identificados três estudos internacionais, publicados em revistas científicas, que exploraram conceitos que complementaram a abrangência do ambiente de testes, nomeadamente com a inclusão dos sistemas de domótica em ambientes comunitários, com mecanismos de reconhecimento de assinaturas energéticas que permitem a utilização de dispositivos não inteligentes para ambientes de domótica e ainda a inclusão de mecanismos de *machine learning* que aprendem os hábitos dos consumidores e utilizadores de uma habitação familiar, e com isso permitem obter sinergias financeiras no consumo e na consciencialização do mesmo. Estes estudos demonstraram que é possível implementar domótica com sucesso, sem necessidade de proceder a uma renovação total dos equipamentos tradicionais de uma habitação, conseguindo obter uma camada de gestão e eficiência extra.

Para responder à questão de partida “De que forma se pode aumentar a consciência energética e ambiental, assim como o potencial das energias renováveis, com a recurso a domótica e IoT?” foram definidos 4 objetivos:

Explorar a conceção de um modelo de protótipo de gestão automatizada de equipamentos domésticos que permita criar efeitos de economia no consumo de energia.

Realizou-se uma revisão da literatura acerca da temática, verificando-se que existem inúmeros protótipos de sistemas SHEMS com foco na otimização de consumos energéticos. Verificou-se também que existem diversos produtos de mercado já construídos com este objetivo, mas que acima de tudo são procuradas formas alternativas de obter esta informação através da construção de dispositivos simples de medição, geralmente colocados em linha com os equipamentos elétricos.

Com base nesta informação, foi desenvolvido um estudo exploratório dividido em duas principais fases: a primeira, com recurso à metodologia do *design thinking* e à metodologia PAwEn foi efetuada uma sessão de *focus group* com o objetivo de identificar de que forma é vista a domótica a contribuir para a otimização do consumo de energia, que revelou respostas muito alinhadas com a literatura e salientou ainda a necessidade da coleta de dados e do processamento posterior dos mesmos para se obter linhas de tendência e o efeito de comparação. A segunda, centrou-se no desenvolvimento de um sistema de informação de testes que permitisse simular casos reais em que a aplicação de domótica contribuísse de forma ativa para a gestão dos consumos, onde foi criado um

protótipo de SHEMS com recurso a ferramentas *open source* e um conjunto de sensores e atuadores inteligentes.

Identificar áreas de aplicação da IoT no contexto de equipamentos domésticos para aplicabilidade do protótipo.

Com o suporte da revisão da literatura, mas acima de tudo com os elementos recolhidos da sessão de *focus group* foi possível identificar que as principais áreas de aplicabilidade das soluções de SHEMS, aos dias de hoje, estão centradas na ativação e desativação de equipamentos domésticos tradicionais, sistemas de iluminação, mas com principal foco nas soluções de climatização e aquecimento de águas quentes sanitárias. Ainda da revisão da literatura obtém-se áreas de aplicação bem mais alargadas, como é o caso do apoio à saúde, do apoio ao envelhecimento no local, principalmente com a fusão dos serviços de saúde e da tecnologia, mas também na monitorização da segurança e na tecnologia de deteção de ameaças.

Explorar a sensibilidade dos utilizadores quanto aos mecanismos de adoção destas tecnologias, considerando vantagens e riscos.

É possível concluir dos resultados obtidos pelos sistemas, sejam os aplicados nos trabalhos relacionados, sejam os resultantes do modelo de testes do SHEMS, que se conseguem obter resultados positivos na adoção das tecnologias, com um aumento da consciencialização energética e ambiental. Sem esquecer o custo de implementação que não foi abordado neste trabalho, os entrevistados constataram que a adoção da tecnologia pode ser potenciada pela implementação de incentivos fiscais e legislação que reforce ou obrigue a adoção de sistemas inteligentes de gestão de energia nas novas construções. No que concerne aos riscos, a revisão da literatura aponta várias vertentes, que vão do risco financeiro, ao risco de privacidade e de radiação eletromagnética. A fraca compatibilidade e interoperabilidade da conceção dos sistemas, aos dias atuais, é também percecionada como um risco. Da sessão de *focus group*, foi possível concluir que o principal risco considerado é o da cibersegurança, muito relacionado com o contexto em que os utilizadores evoluem. O desenvolvimento do protótipo teve também em consideração os riscos de cibersegurança, tendo sido desenvolvido numa infraestrutura com mecanismos proativos e mais resilientes que as soluções mais tradicionais e teve ainda em consideração um caso de uso em que a domótica pode ajudar a mitigar riscos com equipamentos que possam apresentar mau funcionamento, usando a tecnologia IoT como suporte à identificação e mitigação dos mesmos.

Identificar se esta estratégia de conjugação de tecnologias é vista como uma mais-valia e um catalisador de adoção de fontes de energia renováveis para abastecimento de habitações unifamiliares em Portugal.

As principais conclusões sobre este objetivo advêm da sessão de *focus group*, com os entrevistados a percecionarem que o investimento tem viabilidade, mas com um retorno a médio prazo. Apesar do sentimento de que o fator energético tem um peso considerável na adoção da tecnologia, não está diretamente relacionado com a adoção de energia renovável, mas sim com a potencial poupança que pode ser obtida, independentemente da fonte de energia. A ausência de incentivos governamentais na área da domótica e o apoio ainda reduzido na área da energia solar fotovoltaica contribuem de alguma forma para que não sejam percecionadas como complementares. O facto de não ter sido possível adicionar um sistema solar fotovoltaico ao ambiente de testes do SHEMS não permitiu também apresentar conclusões diferentes.

Na revisão da literatura, os sistemas solares fotovoltaicos aparecem como complementares dos SHEMS, não tendo sido identificado nenhum cujo objetivo fosse exclusivamente as fontes de energia renováveis ou a autossuficiência energética suportada por domótica.

6.2.Limitações do estudo

A principal limitação deste estudo prende-se com o facto de não ter sido possível ter acesso a uma infraestrutura de painéis solares fotovoltaicos para poder complementar o modelo de sistema de informação apresentado. A inclusão de mais do que uma fonte de energia permitiria desenvolver automações baseadas no tipo e custo de fornecimento, revelando dessa forma informação pertinente para o estudo.

6.3.Propostas de investigação futura

Durante o processo de desenvolvimento desta dissertação, mais concretamente a 3 de novembro de 2022, foi lançado o novo standard de domótica, denominado Matter. Este standard diz respeito ao novo padrão de conectividade de casas inteligentes, criado por um grupo de trabalho de mais de 200 empresas a nível mundial e fundado pela Connectivity Standards Alliance (CSA), antes conhecida como Zigbee Alliance.

O Matter usa protocolo IP, Bluetooth LE, Wi-Fi e Thread para tornar os produtos domésticos inteligentes compatíveis entre si, usando um único padrão em vez dos muitos diversos que existem atualmente no mercado. Thread é um protocolo de conexão sem fios semelhante ao Wi-Fi e Bluetooth que permite a comunicação contínua entre dispositivos. O Thread serve como a conexão entre os dispositivos, enquanto Matter é a linguagem que os dispositivos usam para comunicar.

Este novo standard, acredita-se que vai mudar a indústria das casas inteligentes, pois deixa de ser necessário concentrar os dispositivos numa única marca para funcionarem perfeitamente em conjunto. Dá maior liberdade de escolha aos utilizadores e por isso facilitará a adoção destas tecnologias. Certamente produzirá impactos significativos nos estudos até agora desenvolvidos e por este motivo, deve ser considerado em futuras investigações relacionadas com o tema domótica.

Referências Bibliográficas

- Ablondi, W. (2020). *Smart Home Market Data*.
<https://www.strategyanalytics.com/access-services/devices/connected-home/smart-home/market-data/report-detail/2020-global-smart-home-forecast---june-2020>
- Aldossari, M. Q., & Sidorova, A. (2020). Consumer Acceptance of Internet of Things (IoT): Smart Home Context. *Journal of Computer Information Systems*, 60(6), 507–517. <https://doi.org/10.1080/08874417.2018.1543000>
- Al-Oudat, N., Aljaafreh, A., Saleh, M., & Alaqtash, M. (2019). Iot-based home and community energy management system in Jordan. *Procedia Computer Science*, 160, 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.454>
- Amin, M., & Wollenberg, B. F. (2005). IEEE september/october 2005. *Toward a Smart Grid, october*, 34–41.
- Anuebunwa, U. R. (2019). *Behavioural Demand Response for Future Smart Homes: Investigation of Demand Response Strategies for Future Smart Homes that Account for Consumer Comfort, Behaviour and Cybersecurity Item Type Thesis*. <http://hdl.handle.net/10454/17359>
- Balta-Ozkan, N., Boteler, B., & Amerighi, O. (2014). European smart home market development: Public views on technical and economic aspects across the United Kingdom, Germany and Italy. *Energy Research and Social Science*, 3(C), 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.07.007>
- Beaver, K., & McClure, S. (2007). *Hacking For Dummies*. Wiley.
- Benito, T. P. (2011). *Práticas de energia solar fotovoltaica*.
- Briere, D., & Hurley, P. (2003). *Smart Homes For Dummies*.
- Buoro, D., Casisi, M., Pinamonti, P., & Reini, M. (2012). Optimal synthesis and operation of advanced energy supply systems for standard and domotic home. *Energy Conversion and Management*, 60, 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.02.008>
- Carnemolla, P. (2018). Ageing in place and the internet of things – how smart home technologies, the built environment and caregiving intersect. *Visualization in Engineering*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40327-018-0066-5>
- Chatzigiannakis, I. (2016). Apps for smart buildings: A case study on building security. In *Start-Up Creation: The Smart Eco-Efficient Built Environment*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100546-0.00019-4>
- Cho, W. T., Lai, Y. X., Lai, C. F., & Huang, Y. M. (2013). Appliance-aware activity recognition mechanism for iot energy management system. *Computer Journal*, 56(8), 1020–1033. <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxt047>
- Choi, D., Choi, H., & Shon, D. (2019). Future changes to smart home based on AAL healthcare service. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 18(3), 194–203. <https://doi.org/10.1080/13467581.2019.1617718>
- Chwieduk, D. (2003). Towards sustainable-energy buildings. *Applied Energy*, 76(1–3), 211–217. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(03\)00059-X](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(03)00059-X)
- Dahmen, J., Thomas, B. L., Cook, D. J., & Wang, X. (2017). Activity learning as a foundation for security monitoring in smart homes. *Sensors (Switzerland)*, 17(4), 1–17. <https://doi.org/10.3390/s17040737>
- Desjardins, A., Viny, J. E., Key, C., & Johnston, N. (2019). Alternative avenues for IoT: Designing with non-stereotypical homes. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 1–13. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300581>
- Dileep, G. (2020). A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*, 146, 2589–2625. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.092>

- Directive 2002/91/EC on the energy performance of buildings. Official Journal of EC L1.* (2003).
- Erol-Kantarci, M., & Mouftah, H. T. (2011). Wireless sensor networks for cost-efficient residential energy management in the smart grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2(2), 314–325. <https://doi.org/10.1109/TSG.2011.2114678>
- European Commission. (2015). *Accelerating the European Energy System Transformation*. 1–22. <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/publication/Complete-A4-setplan.pdf>
- Fauquex, M., Goyal, S., Evequoz, F., & Bocchi, Y. (2015). Creating people-aware IoT applications by combining design thinking and user-centered design methods. *2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 57–62. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2015.7389027>
- Fischer, C. (2008). Feedback on household electricity consumption: A tool for saving energy? *Energy Efficiency*, 1(1), 79–104. <https://doi.org/10.1007/s12053-008-9009-7>
- Flores, A. M. L. de Q. (2010, June). A Criação de Valor no Binómio: “Casa Inteligente / Consumidor.” *Neutro à Terra*, 51–61.
- Gram-Hanssen, K., & Darby, S. J. (2018a). “Home is where the smart is”? Evaluating smart home research and approaches against the concept of home. *Energy Research and Social Science*, 37(September 2017), 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.037>
- Gram-Hanssen, K., & Darby, S. J. (2018b). “Home is where the smart is”? Evaluating smart home research and approaches against the concept of home. *Energy Research and Social Science*, 37(September 2017), 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.037>
- Han, D.-M., & Lim, J.-H. (2010). Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), 1417–1425. <https://doi.org/10.1109/TCE.2010.5606278>
- Hernandez, P., & Kenny, P. (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, 42(6), 815–821. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.001>
- Hong, A., Nam, C., & Kim, S. (2020). What will be the possible barriers to consumers’ adoption of smart home services? *Telecommunications Policy*, 44(2), 101867. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2019.101867>
- Hu, Q., & Li, F. (2013). Hardware design of smart home energy management system with dynamic price response. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(4), 1878–1887. <https://doi.org/10.1109/TSG.2013.2258181>
- Interaction Design Foundation. (2022). *What is Design Thinking?* <https://www.interaction-design.org/literature/topics/design-thinking>
- International Energy Agency. (2014). *Renewables Information 2014*. OECD. <https://doi.org/10.1787/renew-2014-en>
- Issaadi, W., & Issaadi, S. (2018). *Photovoltaic Systems: Design, Performance and Applications* (Issue 12, pp. 4–4). Nova Science Publishers Incorporated.
- Kharpal, A. (2015, September 24). *Hackers are selling your data on the ‘dark web’... for only \$1*. <https://www.cnbc.com/2015/09/23/hackers-are-selling-your-data-on-the-dark-web-for-1.html>
- Koomey, J. G., Matthews, H. S., & Williams, E. (2013). Smart everything: Will intelligent systems reduce resource use? *Annual Review of Environment and Resources*, 38, 311–343. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-021512-110549>
- Kranz, M. (2017). *Building the Internet of things*. John Wiley & Sons.

- Kumar, J., Goomer, R., & Singh, A. K. (2018). Long Short Term Memory Recurrent Neural Network (LSTM-RNN) Based Workload Forecasting Model for Cloud Datacenters. *Procedia Computer Science*, *125*, 676–682. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.087>
- Lee, E. J., & Park, S. J. (2020). A framework of smart-home service for elderly's biophilic experience. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(20), 1–26. <https://doi.org/10.3390/su12208572>
- Lee, J. I., Choi, C.-S., Park, W.-K., Han, J.-S., & Lee, I.-W. (2011). A Study on the use cases of the smart grid home energy management system. *International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*.
- Lee, S. H., Yigitcanlar, T., Han, J. H., & Leem, Y. T. (2008). Ubiquitous urban infrastructure: Infrastructure planning and development in Korea. *Innovation: Management, Policy and Practice*, *10*(2–3), 282–292. <https://doi.org/10.5172/impp.453.10.2-3.282>
- Li, W., Logenthiran, T., Phan, V. T., & Woo, W. L. (2018). Implemented IoT-based self-learning home management system (SHMS) for Singapore. *IEEE Internet of Things Journal*, *5*(3), 2212–2219. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2828144>
- Li, W., Yigitcanlar, T., Erol, I., & Liu, A. (2021). Motivations, barriers and risks of smart home adoption: From systematic literature review to conceptual framework. *Energy Research and Social Science*, *80*(July), 102211. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102211>
- Liedtka, J. (2020). Putting Technology in Its Place: Design Thinking's Social Technology at Work. *California Management Review*, *62*(2), 53–83. <https://doi.org/10.1177/0008125619897391>
- Machorro-Cano, I., Alor-Hernández, G., Paredes-Valverde, M. A., Rodríguez-Mazahua, L., Sánchez-Cervantes, J. L., & Olmedo-Aguirre, J. O. (2020). HEMS-IoT: A big data and machine learning-based smart home system for energy saving. *Energies*, *13*(5). <https://doi.org/10.3390/en13051097>
- Mahapatra, B., & Nayyar, A. (2022). Home energy management system (HEMS): concept, architecture, infrastructure, challenges and energy management schemes. *Energy Systems*, *13*(3), 643–669. <https://doi.org/10.1007/s12667-019-00364-w>
- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., & Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, *43*(4), 971–979. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022>
- Martinez, P., Al-Hussein, M., & Ahmad, R. (2019). A scientometric analysis and critical review of computer vision applications for construction. *Automation in Construction*, *107*(August). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102947>
- McIlvennie, C., Sanguinetti, A., & Pritoni, M. (2020). Of impacts, agents, and functions: An interdisciplinary meta-review of smart home energy management systems research. *Energy Research and Social Science*, *68*(April), 101555. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101555>
- MQTT - The Standard for IoT Messaging*. (2022). <https://mqtt.org/>
- Nacer, A., Marhic, B., & Delahoche, L. (2017). Smart Home, Smart HEMS, Smart heating: An Overview of the Latest Products and Trends. *2017 6th International Conference on Systems and Control (ICSC)*.
- Paetz, A. G., Dütschke, E., & Fichtner, W. (2012). Smart Homes as a Means to Sustainable Energy Consumption: A Study of Consumer Perceptions. *Journal of Consumer Policy*, *35*(1), 23–41. <https://doi.org/10.1007/s10603-011-9177-2>

- Pandya, S., Ghayvat, H., Kotecha, K., Awais, M., Akbarzadeh, S., Gope, P., Mukhopadhyay, S. C., & Chen, W. (2018). Smart home anti-theft system: A novel approach for near real-time monitoring and smart home security for wellness protocol. *Applied System Innovation*, 1(4), 1–22. <https://doi.org/10.3390/asi1040042>
- Parag, Y., & Butbul, G. (2018). Flexiwatts and seamless technology: Public perceptions of demand flexibility through smart home technology. *Energy Research and Social Science*, 39(November 2017), 177–191. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.10.012>
- Park, C., Kim, Y., & Jeong, M. (2018). Influencing factors on risk perception of IoT-based home energy management services. *Telematics and Informatics*, 35(8), 2355–2365. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.10.005>
- Patrikakis, C., Masikos, M., & Zouraraki, O. (2004). Distributed Denial of Service Attacks. *Internet Protocol Journal*, 7, 13–35.
- Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares.* (2022). <https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>
- Ringel, M., Laidi, R., & Djenouri, D. (2019). Multiple benefits through smart home energy management solutions—a simulation-based case study of a single-family-house in Algeria and Germany. *Energies*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/en12081537>
- Rossello-Busquet, A., Soler, J., & Dittmann, L. (2011). A novel home energy management system architecture. *Proceedings - 2011 UKSim 13th International Conference on Modelling and Simulation, UKSim 2011*, 387–392. <https://doi.org/10.1109/UKSIM.2011.80>
- Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 74, pp. 590–601). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>
- Schultz, P. W., Estrada, M., Schmitt, J., Sokoloski, R., & Silva-Send, N. (2015). Using in-home displays to provide smart meter feedback about household electricity consumption: A randomized control trial comparing kilowatts, cost, and social norms. *Energy*, 90, 351–358. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.130>
- Schweizer, D., Zehnder, M., Wache, H., Witschel, H. F., Zanatta, D., & Rodriguez, M. (2016). Using consumer behavior data to reduce energy consumption in smart homes: Applying machine learning to save energy without lowering comfort of inhabitants. *Proceedings - 2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2015*, 1123–1129. <https://doi.org/10.1109/ICMLA.2015.62>
- Seo, E., Bae, S., Choi, H., & Choi, D. (2021). Preference and usability of Smart-Home services and items - A Focus on the Smart-Home living-lab -. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 20(6), 650–662. <https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1812397>
- Sharif, K., & Tenbergen, B. (2020). Smart Home Voice Assistants: A Literature Survey of User Privacy and Security Vulnerabilities. *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly*, 24, 15–30. <https://doi.org/10.7250/csimq.2020-24.02>
- Silvast, A., Williams, R., Hyysalo, S., Rommetveit, K., & Raab, C. (2018). Who “uses” smart grids? The evolving nature of user representations in layered infrastructures. *Sustainability (Switzerland)*, 10(10), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su10103738>
- Solar Photovoltaic Systems in the UK | GreenMatch.* (2022). <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics/photovoltaic-system>

- Son, Y.-S., & Moon, K.-D. (2010). *Home Energy Management System Based on Power Line Communication*. <https://doi.org/10.1109/ICCE.2010.5418733>
- Sovacool, B. K., & Furszyfer Del Rio, D. D. (2020). Smart home technologies in Europe: A critical review of concepts, benefits, risks and policies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120(May 2019), 109663. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109663>
- Strengers, Y., & Nicholls, L. (2017). Convenience and energy consumption in the smart home of the future: Industry visions from Australia and beyond. *Energy Research and Social Science*, 32, 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.02.008>
- Torriti, J., Hassan, M. G., & Leach, M. (2010). Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation. *Energy*, 35(4), 1575–1583. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.05.021>
- Tyagi, V. v., Rahim, N. A. A., Rahim, N. A., & Selvaraj, J. A. L. (2013). Progress in solar PV technology: Research and achievement. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 20, pp. 443–461). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.028>
- Vega, A. M., Santamaria, F., & Rivas, E. (2015). Modeling for home electric energy management: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 948–959. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.023>
- Wilson, C., Hargreaves, T., & Hauxwell-Baldwin, R. (2015). Smart homes and their users: a systematic analysis and key challenges. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19(2), 463–476. <https://doi.org/10.1007/s00779-014-0813-0>
- Wilson, C., Hargreaves, T., & Hauxwell-Baldwin, R. (2017). Benefits and risks of smart home technologies. *Energy Policy*, 103(December 2016), 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.047>
- Yang, C.-S., Liao, M.-Y., & Chen, C.-X. (2010). *Design and Implementation of HEMS Based on RFID and OSGi*.
- Zhou, B., Li, W., Chan, K. W., Cao, Y., Kuang, Y., Liu, X., & Wang, X. (2016). Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 61, pp. 30–40). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.047>

Anexos e Apêndices

Anexo A

Neste anexo identificam-se alguns gráficos possíveis de recolher através do software Home Assistant que mostram o consumo de uma habitação e as suas fontes de energia.

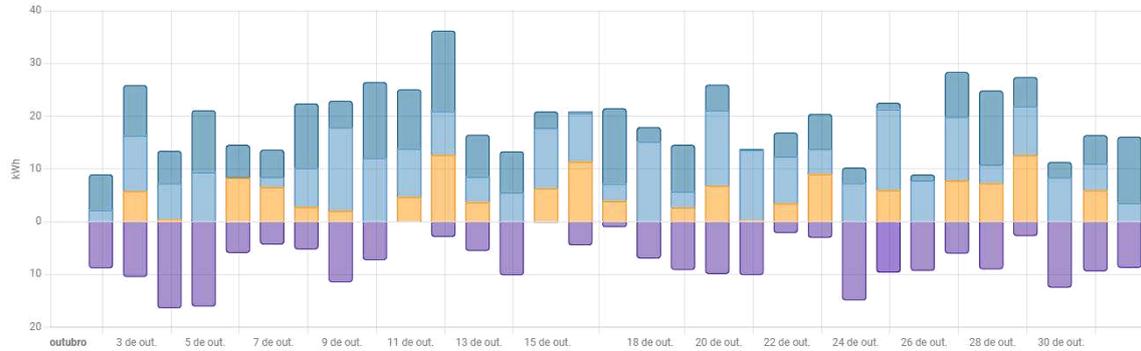


Figura 33 - Dashboard Home Assistant - Utilização de energia

Legenda do gráfico:

- Consumo da rede de energia elétrica na tarifa mais alta
- Consumo da rede de energia elétrica na tarifa mais baixa
- Consumo de energia solar fotovoltaica
- Devolução à rede de energia elétrica

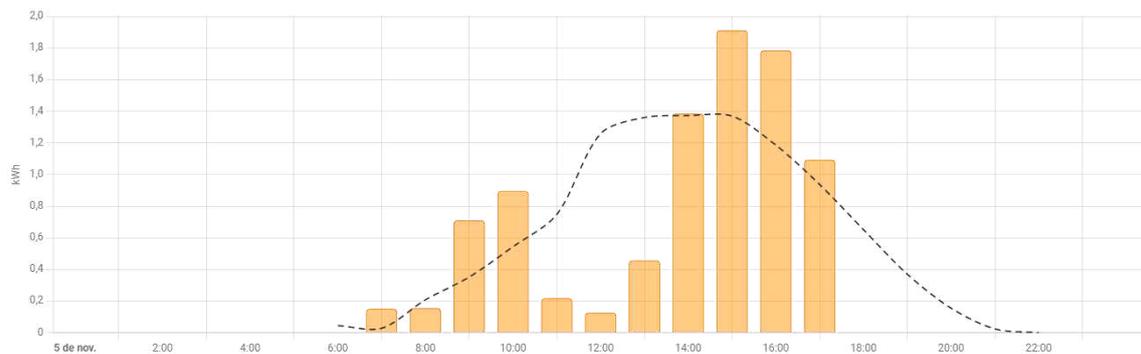


Figura 34 - Dashboard Home Assistant - Produção de energia solar fotovoltaica

Apêndice A

Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares

O efeito fotovoltaico foi descoberto pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel. Contudo, só em 1883 foram as primeiras células fotoelétricas construídas, por Charles Fritts, que cobriu o selênio semicondutor com uma camada extremamente fina de ouro de modo a formar junções. Ao conjunto de células fotoelétricas dá-se o nome de painel solar fotovoltaico. As células fotovoltaicas constituintes dos painéis solares são hoje em dia fabricadas, na sua grande maioria, usando o silício (Si) e podendo ser constituídas de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo. Célula fotovoltaica ou célula solar, são dispositivos com a particularidade de converterem a energia luminosa proveniente de qualquer fonte de luz, (seja do Sol ou de um simples candeeiro) em energia elétrica. São usadas como geradores de eletricidade ou também como sensores de intensidade luminosa. Atualmente a eficiência das células fotovoltaicas é muito reduzida, e as poucas com eficiência mais alta têm um custo de produção muito elevado. É uma forma de ter energia sem criar resíduos, por isso o nome de energia limpa. Existem três tipos principais de células solares:

a) Células monocristalinas

Este tipo de células fotovoltaicas representam a primeira geração. O seu rendimento elétrico é relativamente elevado (aproximadamente 16%, podendo subir até cerca de 23% em laboratório), mas as técnicas utilizadas na sua produção são complexas e dispendiosas. Por outro lado, é necessária uma grande quantidade de energia no seu fabrico, devido à exigência de utilizar materiais em estado muito puro e com uma estrutura de cristal perfeita.

b) Células policristalinas

As células policristalinas têm um custo de produção inferior por necessitarem de menos energia no seu fabrico, mas apresentam um rendimento elétrico inferior (entre 11% e 13%, obtendo-se até 18% em laboratório). Esta redução de rendimento é causada pela imperfeição do cristal, devido ao sistema de fabrico.

c) Células de silício amorfo

As células de silício amorfo são as que apresentam o custo mais reduzido, mas em contrapartida o seu rendimento elétrico é também o mais reduzido (aproximadamente 8%

a 10%, ou 13% em laboratório). As células de silício amorfo são películas muito finas, o que permite serem utilizadas como material de construção, tirando ainda o proveito energético. (*Principais Tipos de Células Fotovoltaicas Constituintes de Painéis Solares*, 2022)

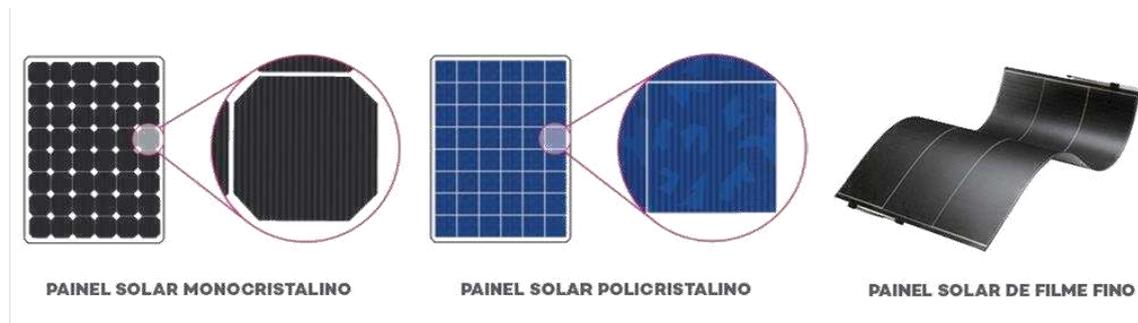


Figura 35 - Principais tipos de painéis solares fotovoltaicos

Apêndice B

Este apêndice descreve alguns dos principais vetores de ataque aos SHEMS no que concerne aos dados de preços, de acordo com o estudo de (Anuebunwa, 2019).

Ataque de negação de serviço (DoS): Um típico ataque DoS é iniciado quando um atacante gera deliberadamente vários pedidos do seu dispositivo a um alvo através de um único protocolo, causando assim um impedimento ao tráfego de dados e impedindo o alvo de aceder aos seus dados online. Em alternativa, o atacante pode gerar múltiplos pedidos através de alguns computadores mestres (*masters*) para os computadores escravos enquanto finge ser o computador da vítima, como mostrado na Figura 36. Os computadores escravos (*slaves*) que não reconhecem a fonte do comando do pedido presumem que todos os pedidos vieram do computador da vítima e, numa tentativa de responder a esses pedidos, acabam por causar um volume muito elevado de tráfego com destino ao sistema da vítima. Tais pedidos são normalmente demasiado maciços para o sistema suportar e qualquer ataque deste tipo à informação sobre preços é capaz de impedir o algoritmo de agendamento de consumo de aceder aos dados necessários para o agendamento de carga. A consequência deste ataque é a indisponibilidade dos detalhes de preços para a função de adequação e, desta forma, o impacto no perfil de consumo programado pode ser observado.

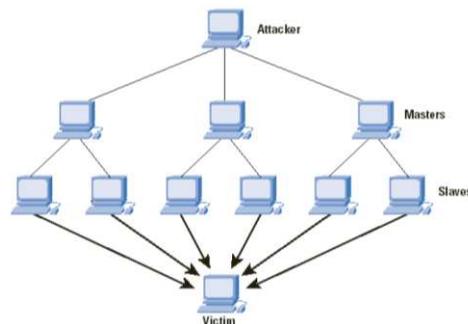


Figura 36 - Ataque de negação de serviço distribuído

Ataque de preços constantes: Vários modelos de programação de consumos domésticos são implementados utilizando regimes de preços dinâmicos, que funcionam na base da procura e da oferta. São normalmente esperados preços mais elevados durante a elevada procura de energia ou o elevado custo da produção de energia. Por conseguinte, o programador de cargas domésticas requer um modelo de tarifação adequado que reflita o cenário atual do mercado da forma mais precisa possível para tomar uma decisão informada em relação à programação de cargas. Mas se, por qualquer razão, os dados de

tarifação que estão a ser fornecidos ao programador revelarem ser um modelo de tarifação fixo, poderá haver consequências. A redução de um regime dinâmico de preços a um sinal de preços fixos poderia ser uma consequência de uma rede não segura sequestrada por um infrator.

Falso ataque de injeção de dados: Um ataque cibernético à informação dinâmica sobre preços pode ocorrer sob a forma de uma interferência ocasionada devido à injeção de dados falsos no sinal de preços. O objetivo deste tipo de ataque pode ser causar a geração de resultados aleatórios e imprevisíveis cada vez que o algoritmo é executado.

Ataque de manipulação de dados: Este cenário de ataque é modelado através do rearranjo dos dados da informação dinâmica de preços para criar novos perfis de preços que são semelhantes aos dados originais, mas diferem nos seus respetivos tempos de ocorrência. Este rearranjo visa fazer com que o SHEMS siga um calendário falso que se destina a conduzir a custos de energia mais caros. A essência deste tipo de ataque baseia-se na presunção de que os atacantes podem decidir não introduzir quaisquer dados externos para perturbar as variáveis de entrada, mas preferem baralhar os dados originais para fugir a qualquer verificação de segurança capaz de detetar alterações no conjunto de dados originais, mas não nos dados originais alterados.

Foram analisados ataques sobre os preços dos dados, mas (Anuebunwa, 2019) considerou no seu estudo também modelos de ciberataques sobre dados de perfil de consumo. Um perfil de consumo pode ser descrito como um gráfico da variação do consumo de carga elétrica dentro dos consumidores residenciais, comerciais ou industriais e pode variar, entre outros, com a temperatura ambiente, bem como com as estações do ano, ao longo de algum tempo. Um perfil de consumo previsto é normalmente obtido a partir de dados históricos e é útil sempre que é necessário utilizá-lo para fins de planeamento. Os mais recentes SHEMS são ferramentas importantes para utilização na conceção de algoritmos de programação de consumo que são utilizados para prever a atividade dos consumidores e para identificar um melhor equilíbrio das fontes de energia e consequente redução dos custos. Isto significa que os perfis de consumo são dados relevantes e qualquer ataque bem-sucedido pode perturbar o fornecimento de energia e perturbar a rede, produzindo resultados imprecisos, bem como invalidando o resultado da alocação de carga e do planeamento eficiente do binómio produção e consumo.

Praticamente qualquer dispositivo com uma ligação à *Internet* pode ser suscetível de ataque e isto coloca o SHEMS ao alcance dos infratores, uma vez que todos os

dispositivos IoT dentro da casa inteligente têm uma ligação com o SHEMS de acordo com a Figura 4. Por este motivo, a autenticação de acesso é naturalmente uma parte fundamental de quaisquer soluções propostas e uma disposição para elevar as medidas de segurança deve ser incluída nos *standards* de concepção dos SHEMS automatizados. É importante assegurar a confiança dos consumidores, pois o sonho de ter uma casa inteligente robusta e eficiente pode facilmente ser desconstruído.

Apêndice C

Neste apêndice encontram as configurações realizadas para o caso de uso do capítulo 5.2.1 no sistema inteligente de gestão de energia, nomeadamente a configuração em modo gráfico com a sequência de atividades e o código fonte que dá origem à mesma programação.

The screenshot displays a configuration interface with three main sections: Triggers, Conditions, and Actions.

- Triggers:** A trigger named "Bedroom Door contact opened" is configured. It is associated with the device "Bedroom Door" and has a duration of 05:00. A button "+ ADD TRIGGER" is visible below.
- Conditions:** A section for adding conditions with a button "+ ADD CONDITION".
- Actions:**
 - Action 1:** "Change preset on Main Room Valve". The device is "Main Room Valve". The action is "Change preset on Main Room Valve". The preset mode is set to "away" (selected), with other options being "boost", "Frost Guard", and "Schedule".
 - Action 2:** "Notifications: Send a notification with notify". The service is "Notifications: Send a notification with notify". The message body is "Porta da varanda aberta -> Válvula foi fechada". There are input fields for Title, Target (with a value of 1), and Data (with a value of 1).

A button "+ ADD ACTION" is located at the bottom of the Actions section.

Figura 37 - Configuração do sistema para o caso de uso 1

```
← Porta do quarto aberta
1 alias: Porta do quarto aberta
2 description: ""
3 trigger:
4   - type: opened
5     platform: device
6     device_id: 92142cc0a0a7e91627204db9481ecf7c
7     entity_id: binary_sensor.bedroom_door_contact
8     domain: binary_sensor
9     for:
10      hours: 0
11      minutes: 5
12      seconds: 0
13 condition: []
14 action:
15   - device_id: f67fd1be864959480065ac31f5668b50
16     domain: climate
17     entity_id: climate.quarto_principal
18     type: set_preset_mode
19     preset_mode: away
20   - service: notify.notify
21     data:
22       message: Porta da varanda aberta -> Válvula foi fechada
23 mode: single
24
```

Figura 38 - Código YAML do caso de uso 1

Apêndice D

Neste apêndice encontram as configurações realizadas para o caso de uso do capítulo 5.2.2 no sistema inteligente de gestão de energia, nomeadamente a configuração em modo gráfico com a sequência de atividades e o código fonte que dá origem à mesma programação.

The image shows a configuration interface with two main sections: Triggers and Conditions.

Triggers

- A button labeled "+ ADD TRIGGER" is visible.

Conditions

- The first condition is titled "Confirm sun after sunrise before sunset".
 - Before:** Radio buttons for "Sunrise" and "Sunset". "Sunset" is selected.
 - Field: "Before offset (optional)"
 - After:** Radio buttons for "Sunrise" and "Sunset". "Sunrise" is selected.
 - Field: "After offset (optional)"
- The second condition is titled "Test if any of 2 conditions matches".
 - Condition 1: "Current shellyht-794809 Temperature temperature"
 - Condition 2: "Current Afonso Window Sensor Temperature Measurement temperature"
 - Button: "+ ADD CONDITION" (below the list)
- Button: "+ ADD CONDITION" (at the bottom of the section)

Figura 39 - Configuração do sistema para o caso de uso 2 - 1

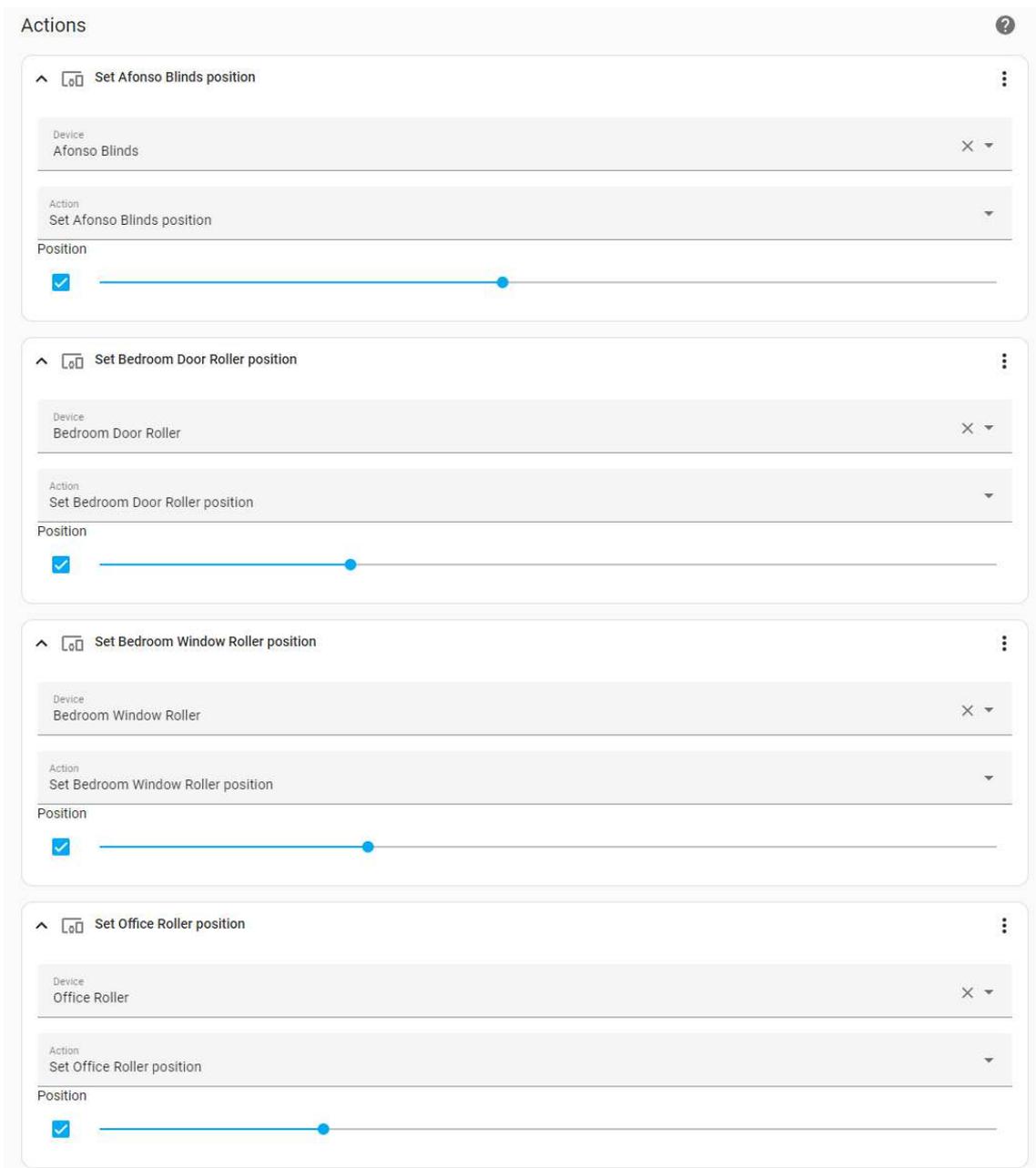


Figura 40 - Configuração do sistema para o caso de uso 2 - 2

The image shows a configuration window for a service named "Notifications: Send a notification with notify". The window has a title bar with a back arrow, a service icon, the service name, and a close button. Below the title bar, there is a "Service" section with the name and a close button. The main content area is divided into several sections:

- Service:** Notifications: Send a notification with notify
- Description:** Sends a notification message using the notify service.
- Message:** Message body of the notification. The value is "Temperatura alta. A baixar estores."
- Title:** Title for your notification. (Optional, checkbox is unchecked)
- Target:** An array of targets to send the notification to. Optional depending on the platform. (Optional, checkbox is unchecked, value is "1")
- Data:** Extended information for notification. Optional depending on the platform. (Optional, checkbox is unchecked, value is "1")

Figura 41 - Configuração do sistema para o caso de uso 2 - 3

```

← Temperatura alto nos quartos
1 alias: Temperatura alto nos quartos
2 description: ""
3 trigger: []
4 condition:
5   - condition: sun
6     after: sunrise
7     before: sunset
8   - condition: or
9     conditions:
10    - type: is_temperature
11      condition: device
12      device_id: 529c4ea1ee82f6d15d6d0078d38b9875
13      entity_id: sensor.shellyht_794809_temperature
14      domain: sensor
15      above: 27
16    - type: is_temperature
17      condition: device
18      device_id: 14e3b578ab325eb83bf6f94e7eab5b28
19      entity_id: sensor.afonso_window_sensor_temperature_measurement
20      domain: sensor
21      above: 27
22 action:
23   - device_id: 24e353fc0ca63030d0243db3521a5668
24     domain: cover
25     entity_id: cover.afonso_blinds
26     type: set_position
27     position: 45
28   - device_id: 46545db798c6abbd26f80f6db812471a
29     domain: cover
30     entity_id: cover.bedroom_door_roller
31     type: set_position
32     position: 28
33   - device_id: b0c1ad41e3daf24b8fa6a73e9effb9b0
34     domain: cover
35     entity_id: cover.bedroom_window_roller
36     type: set_position
37     position: 30
38   - device_id: f4d32c23c1eb24b112f14f8e18af992c
39     domain: cover
40     entity_id: cover.office_roller_2
41     type: set_position
42     position: 25
43   - service: notify.notify
44     data:
45       message: Temperatura alta. A baixar estores.
46 mode: single
47

```

Figura 42 - Código YAML do caso de uso 2

Apêndice E

Neste apêndice encontram as configurações realizadas para o caso de uso do capítulo 5.2.3 no sistema inteligente de gestão de energia, nomeadamente a configuração em modo gráfico com a sequência de atividades e o código fonte que dá origem à mesma programação.

The screenshot displays a configuration interface for a smart home system, organized into three main sections: Triggers, Conditions, and Actions.

- Triggers:** A trigger named "Afonso Bedroom Light turned on" is configured. It is associated with the device "Afonso Bedroom Light" and has a duration set to 00:00:00. A "+ ADD TRIGGER" button is located below.
- Conditions:** A "+ ADD CONDITION" button is present, but no conditions are currently defined.
- Actions:** An action named "Timer: Start Temporizador_Afonso" is configured. It uses the service "Timer: Start". Under "Start a timer", the "Targets" field is set to "Temporizador_Afonso". Below this, there are three buttons: "+ Choose area", "+ Choose device", and "+ Choose entity". A "duration" field is also present, with a checkbox and the text "Duration the timer requires to finish. [optional]". A "+ ADD ACTION" button is located at the bottom.

Figura 43 - Caso de uso 3: arranque do temporizador

```
← Luz Afonso TimerStart
1 alias: Luz Afonso TimerStart
2 description: ""
3 trigger:
4   - platform: device
5     type: turned_on
6     device_id: f556acc1db2471aaedd62870dc185f18
7     entity_id: light.afonso_bedroom_light
8     domain: light
9 condition: []
10 action:
11   - service: timer.start
12     data: {}
13     target:
14       entity_id: timer.temporizador
15 mode: single
16
```

Figura 44 - Caso de uso 3: arranque do temporizador (YAML)

Triggers ?

^ [🔍] **Button long clicked** ⋮

Device
Afonso Bedroom Light ✕

Trigger
Button long clicked ▾

[+ ADD TRIGGER](#)

Conditions ?

[+ ADD CONDITION](#)

Actions ?

^ 🏠 **Timer: Pause Temporizador_Afonso** ⋮

Service
Timer: Pause ✕

Pause a timer. ?

Targets
What should this service use as targeted areas, devices or entities.

Temporizador_Afonso ✕

[+ Choose area](#) [+ Choose device](#) [+ Choose entity](#)

^ 🏠 **Notifications: Send a notification with notify** ⋮

Service
Notifications: Send a notification with notify ✕

Sends a notification message using the notify service. ?

Message
Message body of the notification. Temporizador Afonso Cancelado

Title
Title for your notification.

Target
An array of targets to send the notification to. Optional depending on the platform. 1

Data
Extended information for notification. Optional depending on the platform. 1

[+ ADD ACTION](#)

Figura 45 - Caso de uso 3: interrupção do temporizador

```
← Luz Afonso TimerPaused
1 alias: Luz Afonso TimerPaused
2 description: ""
3 trigger:
4   - platform: device
5     device_id: f556acc1db2471aaedd62870dc185f18
6     domain: shelly
7     type: long
8     subtype: button
9 condition: []
10 action:
11   - service: timer.pause
12     data: {}
13     target:
14       entity_id: timer.temporizador
15   - service: notify.notify
16     data:
17       message: Temporizador Afonso Cancelado
18 mode: single
19
```

Figura 46 - Caso de uso 3: interrupção do temporizador (YAML)

Triggers ?

When Temporizador_Afonso changes to idle ⋮

Entity

Entity
Temporizador_Afonso ✕ ▾

Entity ▾

Attribute (optional) ▾

From (optional) ▾

To (optional)
idle ✕ ▾

For

hh mm ss
0 : 00 : 00

[+ ADD TRIGGER](#)

Conditions ?

[+ ADD CONDITION](#)

Actions ?

Turn off Afonso Bedroom Light ⋮

Device
Afonso Bedroom Light ✕ ▾

Action
Turn off Afonso Bedroom Light ▾

[+ ADD ACTION](#)

Figura 47 - Caso de uso 3: fim do temporizador

← Luz Afonso TimerFinished

```
1 alias: Luz Afonso TimerFinished
2 description: ""
3 trigger:
4   - platform: state
5     entity_id:
6       - timer.temporizador
7     to: idle
8 condition: []
9 action:
10  - type: turn_off
11    device_id: f556acc1db2471aaedd62870dc185f18
12    entity_id: switch.afonso_bedroom_light_2
13    domain: switch
14 mode: single
15
```

Figura 48 - Caso de uso 3: fim do temporizador (YAML)

Apêndice F

Neste apêndice encontram as configurações realizadas para o caso de uso do capítulo 5.2.4 no sistema inteligente de gestão de energia, nomeadamente a configuração em modo gráfico com a sequência de atividades e o código fonte que dá origem à mesma programação.

The screenshot displays a configuration interface for a smart energy management system, organized into three main sections: Triggers, Conditions, and Actions.

Triggers: A trigger is configured for "Heater 1 Energy energy changes". The device is set to "Heater 1". The trigger is "Heater 1 Energy energy changes". The condition is set to "Above" with a value of "2" kWh. There is an optional "Duration" field set to "0 : 00 : 00". A "+ ADD TRIGGER" button is visible below.

Conditions: A "+ ADD CONDITION" button is present, but no conditions are currently configured.

Actions: Two actions are configured:

- Turn off Heater 1:** The device is "Heater 1" and the action is "Turn off Heater 1".
- Notifications: Send a notification with notify:** The service is "Notifications: Send a notification with notify". The description is "Sends a notification message using the notify service.". The message body is "Provável falha no equipamento.". There are optional fields for "Title", "Target", and "Data", each with a "1" in a small box next to it.

A "+ ADD ACTION" button is located at the bottom of the Actions section.

Figura 49 - Configuração do sistema para o caso de uso 4

```
← Proteção Aquecimento 1

1 alias: Proteção Aquecimento 1
2 description: ""
3 trigger:
4   - type: energy
5     platform: device
6     device_id: 101f9b967559582606796301fbc0a0e4
7     entity_id: sensor.heater_1_energy
8     domain: sensor
9     above: 2
10 condition: []
11 action:
12   - type: turn_off
13     device_id: 101f9b967559582606796301fbc0a0e4
14     entity_id: switch.heater_1_2
15     domain: switch
16   - service: notify.notify
17     data:
18       message: Provável falha no equipamento.
19 mode: single
20
```

Figura 50 - Código YAML do caso de uso 4