



Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Gestão Inteligente de uma Habitação considerando o Controlo de Cargas, de Microgeração e Veículos Elétricos em Função do seu Perfil de Utilização

por
Filipe José Gomes Fernandes

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Orientador: Professora Doutora Zita Vale.
Coorientador: Doutor Hugo Morais.

Dezembro 2014

Dedicado aos meus Pais,
José Gramoso e Adélia Gomes

“A felicidade só é real quando
partilhada”
(Christopher McCandless)

Agradecimentos

Eu quero agradecer aos meus orientadores desta dissertação, Professora Doutora Zita Vale e Doutor Hugo Morais, pelo acompanhamento dado, pelo conhecimento partilhado, pelo espírito crítico adequado, tornando esta dissertação bem mais desenvolvida. “Existe sempre um conhecimento mais capaz que pode tornar uma simples ideia numa ideia inovadora.”

Deixo um agradecimento em geral ao Centro de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão – GECAD pela possibilidade de desenvolver todo o trabalho realizado ao longo da tese. E deste modo, deixo um abraço de grande apreço a todos os colegas, professores e, principalmente, aos amigos que tenho ou passaram pelo GECAD. Sem querer citar nomes, o meu muito Obrigado Amigos pelas ideias, incentivos e convívio. Neste sentido, quero agradecer em especial ao Tiago Soares pelo seu contributo muito importante nesta dissertação. “Existe sempre um ombro amigo que torna uma dificuldade numa maior vontade de alcançar o objetivo”.

Agradeço de forma fraterna e emocional aos meus pais (José Gramoso e Adélia Gomes), aos meus irmãos e cunhada (Sérgio, José Carlos e Elvira), à minha namorada Bonita (Ana Isabel), a toda a minha família, em especial aos que já cá não estão, aos meus amigos e amigas, em especial aos *Katalamaya*, a todos os escuteiros, em especial ao Agrupamento 406 Nossa Senhora das Candeias de Terroso, e a todas as pessoas que contribuíram para o meu crescimento como Homem e Cidadão desde o meu nascimento. “Na vida existe um sentimento especial que torna o dia num sorriso especial.”

Resumo

Os consumidores finais são vistos, no novo paradigma da operação das redes elétricas, como intervenientes ativos com capacidade para gerir os seus recursos energéticos, nomeadamente as cargas, as unidades de produção, os veículos elétricos e a participação em eventos de *Demand Response*. Tem sido evidente um aumento do consumo de energia, sendo que o setor residencial representa uma importante parte do consumo global dos países desenvolvidos. Para que a participação ativa dos consumidores seja possível, várias abordagens têm vindo a ser propostas, com ênfase nas *Smart Grids* e nas *Microgrids*.

Diversos sistemas têm sido propostos e desenvolvidos com o intuito de tornar a operação dos sistemas elétricos mais flexível. Neste contexto, os sistemas de gestão de instalações domésticas apresentam-se como um elemento fulcral para a participação ativa dos consumidores na gestão energética, permitindo aos operadores de sistema coordenarem a produção mas também a procura. No entanto, é importante identificar as vantagens da implementação e uso de sistemas de gestão de energia elétrica para os consumidores finais.

Nesta dissertação são propostas metodologias de apoio ao consumidor doméstico na gestão dos recursos energéticos existentes e a implementação das mesmas na plataforma de simulação de um sistema de gestão de energia desenvolvido para consumidores domésticos, o *SCADA House Intelligent Management (SHIM)*. Para tal, foi desenvolvida uma interface que permite a simulação em laboratório do sistema de gestão desenvolvido. Adicionalmente, o SHIM foi incluído no simulador *Multi-Agent Smart Grid Simulation Plataforma (MASGriP)* permitindo a simulação de cenários considerando diferentes agentes.

Ao nível das metodologias desenvolvidas são propostos diferentes algoritmos de gestão dos recursos energéticos existentes numa habitação, considerando utilizadores com diferentes tipos de recursos (cargas; cargas e veículos elétricos; cargas, veículos elétricos e microgeração). Adicionalmente é proposto um método de gestão dinâmica das cargas para eventos de *Demand Response* de longa duração, considerando as características técnicas dos equipamentos.

Nesta dissertação são apresentados cinco casos de estudos em que cada um deles tem diferentes cenários de simulação. Estes casos de estudos são importantes para verificar a viabilidade da implementação das metodologias propostas para o SHIM. Adicionalmente são apresentados na dissertação perfis reais dos vários recursos energéticos e de consumidores domésticos que são, posteriormente, utilizados para o desenvolvimento dos casos de estudo e aplicação das metodologias.

Palavras-chave: Consumidor Doméstico; *Demand Response*; *SCADA House Intelligent Management (SHIM)*; Sistema de Gestão; *Smart Grid*

Abstract

The consumers are seen on the new paradigm of power systems operation and management, as active players with the capability to manage their energy resources, namely the loads, the generation units, the electrical vehicles and the participation on Demand Response events. The energy consumption has been increased gradually in the last years and the residential sector represents an important part of the overall consumption in the developed countries. For the effective participation of the consumers, several approaches have been proposed, with emphasis on Smart Grids and Microgrids concepts. In this context, the Smart Home management systems have been developed in the scope of Smart Grids concepts to provide more adequate and efficient interaction between the network operator entities and the consumers allowing the monitoring and a better control of the appliances inside the house.

An important aspect of this work is the proposal of methodologies to support the domestic consumer in the management of the existing energy resources and their implementation in the platform SCADA House Intelligent Management (SHIM). The development of an interface enabled a laboratory simulation of the management system in which are considered all information and profiles of used energy resources. The developments in SHIM were included on Multi-Agent Smart Grid Simulation Platform (MASGrIP) simulator allowing the joint simulation of different players, namely, consumers (with generation units and electric vehicles), aggregators and system operators.

The main contribution of this dissertation is the development of a simulation platform of energy management for domestic consumers. The simulation platform considers the implementation of models with dynamic management of the energy resources. This results in a better performance of the global system during Demand Response events, as well as, ensuring adequate levels of comfort during events with long time periods. Moreover, it is also possible the user interaction during the events considering the operational requirements of energy resources.

On this dissertation five case studies are presented each one considering different methodologies proposed and implemented in the SHIM. Furthermore, are presented the operation characteristics of several energy resources (loads, appliances, and generation units) based in real measurements, and the consumption profile of real domestic consumers which are used to the development of the case studies.

Keywords: Demand Response; Domestic Consumer; Energy Management System; Smart Grid; SCADA House Intelligent Management (SHIM).

Acrónimos

Notação	Descrição
ASCII	- American Standard Code for Information Interchange
AT	- Alta Tensão
AVAC	- Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
AWEA	- American Wind Energy Association
Aztech	- Aztech In-Home Display
BT	- Baixa Tensão
BWEA	- British Wind Energy Association
CHP	- Combined Heat and Power
CO ₂	- Dióxido de Carbono
CPL	- Controlador Lógico Programável
CSP	- Curtailement Service Provider
DGEG	- Direção Geral de Energia e Geologia
DLC	- Direct Load Control
DLP	- Dynamic Loads Priority
DMPR	- Disjoint Multi Path based Routing
DNO	- Distribution Network Operator
DR	- Demand Response
DSO	- Distribution System Operator
EMC	- Energy Management Controller
EPnP	- Energy-aware Plug and Play
FCT	- Fundação para a Ciência e Tecnologia
GAMS	- General Algebraic Modeling System
GECAD	Centro de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão
GPRS	- General Packet Radio Service
GSM	- Global System for Mobile
HEMS	- Home Energy Management System
HMI	- Human Machine Interface
IEEE	- Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISEP	- Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	- Independent System Operator
LASIE	- Laboratório de Sistemas Inteligentes de Energia
MASGrIP	- Multi-Agent Smart Grid Simulation Platform
MATLAB	- Matrix Laboratory

MINLP	-	M ixed- I nteger N on- L inear P rogramming
OLA	-	O bserve, L earn and A dapt
PAC	-	P onto de A coplamento C omum
PCC	-	P oint of C ommon C oupling
PCM	-	B lue L ine P ower C ost M onitor
PLC	-	P ower L ine C ommunication
PSO	-	P article S warm O ptimization
RAM	-	R andom- a ccess- m emory
REUC	-	R esidential E nergy U sage C omparison
RTDB	-	R eal T ime D ata B ase
RTU	-	R emote T erminal U nit
SCADA	-	S upervisory C ontrol and D ata A cquisition
SCI	-	S cience C itation I ndex
SHEMS	-	S mart H ome E nergy M anagement S ystem
SHIM	-	S CADA H ouse I ntelligent M anagement
TCP/IP		T ransmission C ontrol P rotocol/ I nternet P rotocol
TOU	-	T ime- o f- U se
UTR	-	U nidade de T erminal R emota
V2G	-	V ehicle- t o- G rid
VPP	-	V irtual P ower P layer
WPCOM	-	W ireless P ower- C ontrolled O utlet M odule

Nomenclatura

Notação		Descrição	Unidade	
Δt	-	Intervalo de tempo	hora	(h)
λ_{CHP}	-	Prioridade da unidade de cogeração	-	-
$\lambda_{ChVehicle}$	-	Prioridade da carga do veículo	-	-
$\lambda_{DchVehicle}$	-	Prioridade da descarga do veículo	-	-
λ_{Down}	-	Prioridade da regulação para baixo	-	-
λ_f	-	Prioridade final da carga	-	-
λ_{Grid}	-	Prioridade de fornecer à rede	-	-
λ_i	-	Prioridade inicial da carga	-	-
λ_{Load}	-	Prioridade da carga	-	-
λ_{PV}	-	Prioridade do painel fotovoltaico	-	-
λ_{Up}	-	Prioridade da regulação para cima	-	-
λ_{Wind}	-	Prioridade do gerador eólico	-	-
<i>fixedOn</i>	-	Carga não-controlável ligada	-	-
<i>fixedOff</i>	-	Carga não-controlável desligada	-	-
<i>k</i>	-	Fator de prioridade da carga	-	-
<i>nCHP</i>	-	Número total de unidades de cogeração	-	-
<i>nLoad</i>	-	Número total de cargas	-	-
<i>nPV</i>	-	Número total de painéis fotovoltaicos	-	-
<i>nVehicle</i>	-	Número total de veículos	-	-
<i>nWind</i>	-	Número total de geradores eólicos	-	-
x_{CHP}	-	Variável binária da unidade de cogeração	-	-
x_{Grid}	-	Variável binária para injeção na rede elétrica	-	-
x_{Load}	-	Variável binária da carga	-	-
x_{PV}	-	Variável binária do painel fotovoltaico	-	-
$x_{Vehicle}$	-	Variável binária da carga do veículo	-	-
$y_{Vehicle}$	-	Variável binária da descarga do veículo	-	-
x_{Wind}	-	Variável binária do gerador eólico	-	-
<i>CHP</i>	-	Índice da unidade de cogeração	-	-
$E_{Initial}$	-	Estado inicial da bateria do veículo	Watt hora	(Wh)
$E_{Vehicle}$	-	Energia armazenada no veículo	Watt hora	(Wh)

$E_{Vehicle}^{Max}$	-	Energia máxima armazenada no veículo	Watt hora	(Wh)
$E_{Vehicle}^{Min}$	-	Energia mínima armazenada no veículo	Watt hora	(Wh)
$Load$	-	Índice da Carga	-	-
P_{CHP}	-	Potência de produção da unidade de cogeração	Watt	(W)
P_{CHP}^{Max}	-	Potência de produção máxima da unidade de cogeração	Watt	(W)
P_{CHP}^{Min}	-	Potência de produção mínima da unidade de cogeração	Watt	(W)
$P_{ChVehicle}$	-	Potência de carga do veículo	Watt	(W)
$P_{ChVehicle}^{Max}$	-	Taxa de potência máxima de carga do veículo	Watt	(W)
$P_{DchVehicle}$	-	Potência de descarga do veículo	Watt	(W)
$P_{DchVehicle}^{Max}$	-	Taxa de potência máxima de descarga do veículo	Watt	(W)
P_{Grid}^{Max}	-	Potência de injeção máxima na rede elétrica		
$P_{FixedLoads}$	-	Potência de consumo total das cargas não-controláveis	Watt	(W)
P_{Grid}	-	Potência a fornecer à rede	Watt	(W)
P_{Limit}	-	Limite da potência de consumo	Watt	(W)
P_{Load}	-	Potência de consumo da carga	Watt	(W)
P_{Load}^{Max}	-	Potência de consumo máximo da carga	Watt	(W)
P_{Load}^{Min}	-	Potência de consumo mínimo da carga	Watt	(W)
P_{PV}	-	Potência de produção do painel fotovoltaico	Watt	(W)
P_{PV}^{Max}	-	Potência de produção máxima do painel fotovoltaico	Watt	(W)
P_{PV}^{Min}	-	Potência de produção mínima do painel fotovoltaico	Watt	(W)
P_{Wind}	-	Potência de produção do gerador eólico	Watt	(W)
P_{Wind}^{Max}	-	Potência de produção máxima do gerador eólico	Watt	(W)
P_{Wind}^{Min}	-	Potência de produção mínima do gerador eólico	Watt	(W)
PV	-	Índice do painel fotovoltaico	-	-
Reg_{Down}	-	Potência de regulação para baixo	Watt	(W)
Reg_{Up}	-	Potência de regulação para cima	Watt	(W)
T_{Off}	-	Tempo desligado da carga	Minutos	(m)
T_{Off_max}	-	Tempo máximo desligado da carga	Minutos	(m)
T_{On}	-	Tempo ligado da carga	Minutos	(m)
T_{On_max}	-	Tempo máximo ligado da carga	Minutos	(m)
$Vehicle$	-	Índice do veículo	-	-

Gestão Inteligente de uma Habitação considerando o Controlo de Cargas, de Microgeração e Veículos Elétricos em Função do seu Perfil de Utilização

<i>Wind</i>	-	Índice do gerador eólico	-	-
-------------	---	--------------------------	---	---

Índice

Agradecimentos.....	VII
Resumo	IX
Abstract	XI
Acrónimos	XIII
Nomenclatura	XV
Lista de Figuras.....	XXIII
Lista de Tabelas	XXVIII
1. Introdução.....	3
1.1. Conhecimento e Motivação	3
1.2. Objetivos	5
1.3. Contribuições da Tese.....	6
1.4. Visão Geral da Tese.....	12
2. Gestão da Energia em Consumidores Domésticos	17
2.1. Introdução	17
2.2. Consumidores domésticos no panorama energético	18
2.3. Participação ativa dos consumidores domésticos na gestão das redes inteligentes	20
2.3.1. Consumidores no âmbito das <i>Smart Grids</i>	21
2.3.2. Consumidores no âmbito das <i>Microgrids</i>	22
2.3.3. Utilização de contadores inteligentes.....	24
2.4. Gestão da energia no consumidor doméstico	26
2.4.1. Sistemas de gestão de energia.....	27
2.4.1.1. Infraestrutura de comunicação	29
2.4.1.2. Protocolos de comunicação.....	32
2.4.1.3. Gestão centralizada/descentralizada	34
2.4.2. Gestão de cargas, equipamentos e eletrodomésticos.....	34
2.4.3. Gestão da produção distribuída	39
2.4.4. Gestão dos veículos elétricos	43
2.4.5. Gestão de programas de <i>Demand Response</i>	44

2.5. Conclusões	46
3. <i>SCADA House Intelligent Management</i> – Desenvolvimento e Implementação	51
3.1. Introdução	51
3.2. Sistema <i>SCADA House Intelligent Management</i>	54
3.2.1. Metodologia implementada no SHIM	55
3.2.2. Estrutura do SHIM	56
3.2.3. Hardware do SHIM	58
3.2.4. Interface do SHIM	60
3.3. Modelo para gestão de cargas.....	66
3.3.1. Modelo proposto.....	66
3.3.2. Formulação matemática	67
3.4. Modelo para gestão de cargas e de veículos elétricos	68
3.4.1. Modelo proposto.....	68
3.4.2. Formulação matemática	69
3.5. Modelo para gestão de cargas, de veículos elétricos e de produção distribuída.....	71
3.5.1. Modelo proposto.....	71
3.5.2. Formulação matemática	73
3.6. Modelo dinâmico para o controlo das cargas	74
3.6.1. Módulo de gestão dos recursos	75
3.6.2. Método dinâmico para alteração das prioridades das cargas.....	76
3.6.3. Formulação matemática	79
3.7. Modelo para análise eficiente da energia	79
3.7.1. Modelo para a avaliação dos benefícios económicos na gestão do consumo	79
3.8. Conclusões	80
4. Casos de Estudo	85
4.1. Introdução	85
4.2. Definição das características dos consumidores.....	87
4.2.1. Perfis de utilização de cargas	88
4.2.1.1. Frigorífico.....	88

4.2.1.2. Micro-ondas	89
4.2.1.3. Sistemas de climatização - AVAC	90
4.2.1.4. Máquina de lavar roupa	91
4.2.2. Perfis de utilização dos consumidores.....	93
4.2.2.1. Consumidor A	93
4.2.2.2. Consumidor B	95
4.2.2.3. Consumidor C	96
4.2.2.4. Consumidor D.....	97
4.2.3. Perfis de utilização de microgeração	100
4.2.3.1. Produção fotovoltaica	100
4.2.3.2. Produção eólica.....	102
4.3. Caso de estudo 1 – Gestão de cargas	103
4.3.1. Caraterização das etapas do cenário	104
4.3.2. Resultados da otimização – Etapa 1A	105
4.3.3. Resultados da otimização – Etapa 1B	106
4.3.4. Resultados da otimização – Etapa 1C	107
4.3.5. Análise dos resultados do caso de estudo 1	107
4.4. Caso de estudo 2 – Gestão de cargas e veículos elétricos	108
4.4.1. Consumidores finais considerando os V2Gs.....	109
4.4.2. Descrição das cargas dos consumidores finais	110
4.4.3. Resultados obtidos – Estado do V2Gs.....	110
4.4.4. Resultados obtidos – Escalonamento dos recursos	112
4.4.5. Análise dos resultados do caso de estudo 2	115
4.5. Caso de estudo 3 – Gestão de cargas, veículos elétricos e microgeração	116
4.5.1. Caraterização do consumidor doméstico	116
4.5.2. Caraterização dos cenários	118
4.5.3. Resultados da otimização – Cenário 3A	119
4.5.4. Resultados da otimização – Cenário 3B	120
4.5.5. Análise dos resultados do caso de estudo 3	122

4.6. Caso de estudo 4 – Modelo dinâmico de gestão.....	122
4.6.1. Caraterização das cargas para o consumidor doméstico	123
4.6.2. Descrição dos cenários para o caso de estudo 4	124
4.6.3. Resultados obtidos – Cenário 4A	125
4.6.4. Resultados obtidos – Cenário 4B	128
4.6.5. Análise dos resultados do caso de estudo 4	131
4.7. Caso de estudo 5 – Método para análise eficiente da energia	131
4.7.1. Caraterização do consumidor doméstico	131
4.7.2. Resultados obtidos – Estratégia 5A	132
4.7.3. Resultados obtidos – Estratégia 5B	135
4.7.4. Análise da poupança de energia nas duas estratégias	137
4.7.5. Análise económica aplicando o módulo do SHIM	139
4.7.6. Análise dos resultados do caso de estudo 5	140
4.8. Conclusões	141
5. Conclusões e Trabalhos Futuros.....	149
5.1. Principais conclusões e contribuições	149
5.2. Sugestões para trabalhos futuros	152
Referências.....	155
Anexos.....	A
Anexo A	A.1
Anexo B	B.1
Anexo C	C.1

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Estrutura de uma <i>Smart Home</i> com aplicação <i>Smart Meter</i> para a gestão da energia.....	4
Figura 1.2 – Diagrama proposto para o Sistema SHIM.....	7
Figura 1.3 – Estrutura da interface do Sistema SHIM.	8
Figura 2.1 – Habitação com a integração de recursos energéticos [Laboratory-2012]. ...	17
Figura 2.2 – Número de consumidores com contadores de baixa tensão instalados em Portugal (adaptado de [DGEG-2013a]).	18
Figura 2.3 – Energia consumida em Portugal pelos consumidores com contadores em baixa tensão (adaptado de [DGEG-2013a]).....	19
Figura 2.4 – Sistema elétrico num contexto de <i>Smart Grid</i> [Information-2012].	21
Figura 2.5 – Diagrama esquemático de uma <i>Microgrid</i> servido pelo sistema de distribuição [Katiraei, et al.-2008].	23
Figura 2.6 – Integração dos vários sistemas nos contadores inteligentes [ESMIG-2009a].....	25
Figura 2.7 – Esquema de comunicação bidirecional entre o veículo e a rede elétrica [Libiao, et al.-2011].....	25
Figura 2.8 – Modelo de um sistema de gestão em ambiente <i>Smart Home</i> [Jidong, et al.-2012].....	28
Figura 2.9 – Infraestrutura de comunicação de um sistema de gestão de energia numa habitação [Youn-Kwae, et al.-2008].....	30
Figura 2.10 – Arquitetura de um sensor <i>Self-adjusting</i> na comunicação <i>ZigBee</i> [JinSung, et al.-2012].....	31
Figura 2.11 – Sistema de automação de um edifício utilizando o protocolo de comunicação KNX [Sita, et al.-2014].....	33
Figura 2.12 – Diagrama de carga para o setor doméstico português por tipo de carga [IP-3E-2004].	36
Figura 2.13 – Percentagem, do consumo total, por cada tipo de carga no setor doméstico português [IP-3E-2004].	37
Figura 2.14 – Evolução do número de geradores eólicos de pequena escala instalados entre 2005 e 2011 no Reino Unido [BWEA-2011].....	41
Figura 2.15 – Evolução do número de geradores eólicos de pequena escala instalados entre 2001 e 2010 nos Estados Unidos [AWEA-2010].....	41
Figura 2.16 – Esquema para teste da instalação de uma unidade CHP [Dentice d’Accadia, et al.-2003].	43
Figura 2.17 – Diagrama exemplo do estado da bateria de um veículo elétrico [Wishart, et al.-2011].	44

Figura 2.18 – Sistema de gestão inteligente de uma casa com comunicação com a rede [Chen, <i>et al.</i> -2013].....	45
Figura 2.19 – Comunicações existentes num sistema de gestão inteligente da energia de uma casa [Ozturk, <i>et al.</i> -2013].....	46
Figura 3.1 – Estrutura do Sistema SHIM para participação nos processos de gestão de <i>Smart Grid</i> (adaptado de [Morais, <i>et al.</i> -2012]).	54
Figura 3.2 – Estrutura do modelo de gestão inteligente de energia no Sistema SHIM. ..	57
Figura 3.3 – Estrutura de comunicação entre <i>hardware</i> no Sistema SHIM.	58
Figura 3.4 – Unidades de produção distribuída consideradas no Sistema SHIM.	59
Figura 3.5 – Unidades de controlo de cargas consideradas no Sistema SHIM.....	60
Figura 3.6 – Menu principal da interface do Sistema SHIM.	61
Figura 3.7 – Submenu da interface do Sistema SHIM para a produção distribuída.....	61
Figura 3.8 – Submenu da interface do Sistema SHIM para as cargas.....	62
Figura 3.9 – Submenu da interface do Sistema SHIM para a cozinha.....	62
Figura 3.10 – Submenu da interface do Sistema SHIM para os veículos elétricos convencional.....	63
Figura 3.11 – Submenu da interface do Sistema SHIM para a segurança.	64
Figura 3.12 – Submenu da interface do Sistema SHIM para o estado do sistema.	64
Figura 3.13 – Submenu da interface do Sistema SHIM para a configuração do sistema.	65
Figura 3.14 – Diagrama do modelo de gestão de cargas.....	66
Figura 3.15 – Diagrama do modelo de gestão de cargas e veículos elétricos.....	69
Figura 3.16 – Diagrama de modelo de gestão de cargas, veículos elétricos e microprodução.	72
Figura 3.17 – Descrição do módulo de gestão dos recursos.....	76
Figura 3.18 – Perfil de carga do frigorífico para duas horas de consumo (dados do LASIE).	77
Figura 3.19 – Mecanismo do método dinâmico para as prioridades das cargas em cada período do processo de otimização.	78
Figura 3.20 – Módulo de economia e eficiência do Sistema SHIM.	80
Figura 4.1 – Perfil de consumo de um frigorífico no final de tarde (a) e na hora de almoço do dia seguinte (b).	88
Figura 4.2 – Perfil de consumo de um micro-ondas na hora de almoço.	90
Figura 4.3 – Perfil de consumo de um AVAC entre as 11:00 PM e as 6:00 PM no modo de refrigeração.	91
Figura 4.4 – Perfil de consumo da máquina de lavar B com lavagem curta a água fria.	92

Figura 4.5 – Perfil de consumo da máquina de lavar B com lavagem longa a água quente.	92
Figura 4.6 – Perfil de carga do consumidor A no dia 4 (a), 5 (b), 6 (c) e 7 (d) de junho de 2011.....	94
Figura 4.7 – Perfil de carga do consumidor B no dia 6 (a), 7 (b), 8 (c) e 9 (d) de agosto de 2011.	95
Figura 4.8 – Perfil de carga do consumidor C no dia 29 (a) e 30 (b) de setembro e 1 (c) e 2 (d) de outubro de 2011.....	97
Figura 4.9 – Perfil de carga do consumidor D no dia 2 (a), 3 (b), 4 (c) e 5 (d) de junho de 2012.....	98
Figura 4.10 – Perfil de carga do consumidor D no dia 5 (a), 6 (b), 7 (c) e 8 (d) de janeiro de 2013.	99
Figura 4.11 – Perfil de produção do sistema solar do GECAD no dia 1 e 2 de agosto de 2012.....	101
Figura 4.12 – Perfil de produção do sistema solar do GECAD no dia 2 e 3 de dezembro de 2012.....	101
Figura 4.13 – Perfil de produção do sistema eólico isolado nos dias 9 e 10 de janeiro de 2013.....	102
Figura 4.14 – Perfil de produção do sistema eólico isolado nos dias 16, 17 e 18 de janeiro de 2013.	103
Figura 4.15 – Consumidores finais com V2G em diferentes períodos do dia, de manhã (9:00 AM) e de noite (8:00 PM).	109
Figura 4.16 – Estado do V2G1 no segundo evento DR (8:00 PM).	115
Figura 4.17 – Recursos de energia considerados no consumidor doméstico do tipo unifamiliar.	117
Figura 4.18 – Resultados do estado dos recursos de energia no cenário 3A.	119
Figura 4.19 – Resultados do estado dos recursos de energia no cenário 3B.	121
Figura 4.20 – Diagrama para identificar as características das cargas no evento de gestão.....	124
Figura 4.21 – Potência de consumo para o Cenário de Base sem limites de potência. ...	124
Figura 4.22 – Potência de consumo para cada carga no Cenário de Base (a) e no Cenário 4A com 30 minutos de evento de <i>Demand Response</i> (b).....	125
Figura 4.23 – Corte da potência de consumo para o Cenário 4A.....	126
Figura 4.24 – Resultados das prioridades dinâmicas das cargas no evento de <i>Demand Response</i> do Cenário 4A para o motor 1 (a), a lâmpada fluorescente (b), o AVAC 2 (c) e o frigorífico 2 (d).	127

Figura 4.25 – Potência de consumo para cada carga no Cenário de Base (a) e no Cenário 4B com 240 minutos de evento de <i>Demand Response</i> (b).	128
Figura 4.26 – Corte da potência de consumo para o Cenário 4B.	129
Figura 4.27 – Resultados das prioridades dinâmicas das cargas no evento de <i>Demand Response</i> do Cenário 4B para o motor 1 (a), a lâmpada fluorescente (b), o AVAC 2 (c) e o frigorífico 2 (d)	130
Figura 4.28 – Dados da energia durante os 30 dias de junho de 2012 para o consumidor doméstico.	132
Figura 4.29 – Resultados da potência instantânea na Estratégia 5A no sábado dia 9 de junho de 2012.	133
Figura 4.30 – Resultados da potência instantânea na Estratégia 5A na quinta-feira dia 14 de junho de 2012.	134
Figura 4.31 – Resultados da potência instantânea na Estratégia 5B no sábado dia 9 de junho de 2012.	136
Figura 4.32 – Resultados da potência instantânea na Estratégia 5B na quinta-feira dia 14 de junho de 2012.	137
Figura 4.33 – Dados de energia durante os 30 dias com as estratégias aplicadas.	137
Figura 4.34 – Resultados da energia no dia sem redução de consumo (28 – quinta-feira).	138
Figura 4.35 – Resultados da potência na Estratégia 5A nas horas de pico do dia 28 (quinta-feira).	138
Figura 4.36 – Resultados da energia no dia com maior economia de energia (16 – sábado).	138
Figura B.1 - Submenu da produção distribuída para o painel fotovoltaico no Sistema SHIM	B.3
Figura B.2 - Submenu da produção distribuída para a cogeração no Sistema SHIM	B.3
Figura B.3 - Submenu da produção distribuída para o gerador eólico no Sistema SHIM	B.3
Figura B.4 - Submenu das cargas para o quarto no Sistema SHIM	B.4
Figura B.5 - Submenu das cargas para a sala de estar no Sistema SHIM	B.4
Figura B.6 - Submenu das cargas para a casa de banho no Sistema SHIM	B.4
Figura B.7 - Submenu das cargas para a sala de arrumos no Sistema SHIM	B.5
Figura B.8 - Submenu da interface do Sistema SHIM para os veículos elétricos	B.5
Figura B.9 - Submenu dos veículos elétricos para o veículo com capacidade de descarga no Sistema SHIM	B.5

Figura B.10 - Submenu do estado do sistema para a informação geral no Sistema SHIM	B.6
Figura B.11 - Submenu do estado do sistema para a produção no Sistema SHIM.....	B.6
Figura B.12 - Submenu do estado do sistema para o consumo no Sistema SHIM	B.6
Figura B.13 - Submenu da configuração do sistema para a estratégia de economia e eficiência no Sistema SHIM	B.7
Figura B.14 - Submenu da configuração do sistema para os níveis de conforto no Sistema SHIM	B.7
Figura B.15 - Submenu da configuração do sistema para as características da casa no Sistema SHIM	B.7
Figura B.16 - Submenu da configuração do sistema para a otimização e <i>Offset</i> no Sistema SHIM	B.8

Figura C.1 – Perfil de consumo da máquina de lavar A durante as 9:00 AM e as 12:40 PM.....	C.3
Figura C.2 – Perfil de consumo de um refrigerador de água entre as 4:00 PM e as 8:00 PM	C.4

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Alguns tipos de cargas a utilizar por divisão numa habitação.	35
Tabela 2.2 – Tipos de controlo por carga de uma habitação (adaptado de [Soares, et al.-2012]).....	36
Tabela 2.3 – Produção de energia elétrica com recursos renováveis em Portugal (adaptado de [Pordata-2013]).....	40
Tabela 3.1 – Caraterização dos modelos de gestão da energia.	52
Tabela 4.1 – Caraterização dos casos de estudo.	86
Tabela 4.2 – Dados iniciais para as 3 etapas.	104
Tabela 4.3 – Consideração do contexto para as 3 etapas.	104
Tabela 4.4 – Resultados da otimização na Etapa 1A.	105
Tabela 4.5 – Resultados da otimização na Etapa 1B.	106
Tabela 4.6 – Resultados da otimização na Etapa 1C.	107
Tabela 4.7 – Caraterísticas das cargas dos consumidores finais.	110
Tabela 4.8 – Estados dos veículos e participação nos eventos de <i>Demand Response</i>	111
Tabela 4.9 – Resultados das otimizações às 9:00 AM para os consumidores finais.	113
Tabela 4.10 – Resultados das otimizações às 8:00 PM para os consumidores finais.	114
Tabela 4.11 – Caraterização dos recursos de energia existentes no consumidor doméstico.....	117
Tabela 4.12 – Caraterização dos recursos de energia para os respetivos cenários.	118
Tabela 4.13 – Resultados do escalonamento no Cenário 3A.	120
Tabela 4.14 – Resultados do escalonamento no Cenário 3B.	121
Tabela 4.15 – Informação para identificar as caraterísticas das cargas do consumidor doméstico.....	123
Tabela 4.16 – Limites de potência e duração dos eventos na Estratégia 5A.	133
Tabela 4.17 – Resultados diários da Estratégia 5A.	134
Tabela 4.18 – Limites de potência e duração dos eventos na Estratégia 5B.	135
Tabela 4.19 – Resultados diários da Estratégia 5B.	136
Tabela 4.20 – Poupança económica no consumo da potência e na potência contratada.....	139
Tabela 4.21 – Total de custos para o consumidor doméstico.	140

Tabela A.1 – Consumo de eletricidade nos consumidores domésticos por localização geográfica em 2010	A.4
Tabela A.2 – Número de consumidores de eletricidade por localização geográfica e por tipo de consumidor em 2009	A.4
Tabela C.1 – Modos de funcionamento de um refrigerador de água	C.3

Capítulo 1

Introdução

1. Introdução

1.1. Conhecimento e Motivação

A contínua reestruturação do sector elétrico tem vindo a originar a necessidade de desenvolver novos paradigmas e metodologias de planeamento, gestão e operação dos sistemas elétricos de energia [Conejo, *et al.*-2010; Sioshansi-2013]. Um dos pontos chave na operação das redes do futuro é a participação ativa dos consumidores em diferentes serviços promovidos pelos operadores do sistema, considerando que os consumidores podem gerir eficazmente os equipamentos existentes nas suas instalações, nomeadamente equipamentos de consumo, produção e armazenamento de energia elétrica. Várias abordagens têm sido propostas com principal ênfase no desenvolvimento e implementação das *Smart Grids* [Kok, *et al.*-2009]. Um dos aspetos subjacentes à grande maioria das abordagens propostas é a necessidade de adoção de um processo de tomada de decisão mais descentralizado e com mais níveis hierárquicos [Vale, *et al.*-2009]. Esta hierarquização permite uma gestão mais adequada dos vários recursos existentes em cada nível de decisão [Bose-2010], bem como permite a interação, gestão e coordenação de uma ampla e diversificada gama de *players* [Hammerschmidt, *et al.*-2010]. No entanto é necessário um elevado nível de coordenação entre os diferentes níveis hierárquicos para assegurar a fiabilidade de funcionamento e a qualidade de serviço requerida.

O conceito *Smart Home* ou "casa inteligente" pode ser encarado como o nível mais baixo de gestão de recursos energéticos de uma *Smart Grid* [Cook, *et al.*-2004; Venables-2007; Wood, *et al.*-2007; Yang-2013]. As *Smart Homes* deverão ser capazes de gerir todos os recursos ligados, permanentemente ou temporariamente (caso dos veículos elétricos), numa instalação doméstica e, ao mesmo tempo interagir com os sistemas dos operadores de sistema ou de entidades agregadoras. Como exemplo, os consumidores podem ser agregados em pequenas comunidades criando desta forma as chamadas *Microgrids*. Estas redes de pequena escala permitem a gestão de vários consumidores mas também de vários recursos de produção distribuída [Kroposki, *et al.*-2008]. Uma das principais características das *Microgrids* é a possibilidade de trabalhar acoplada à rede principal de distribuição mas também operar em modo isolado permitindo uma qualidade de serviço elevada e reduzindo a energia não fornecida aos consumidores que pertencem à *Microgrid* [Katiraei, *et al.*-2008].

O conceito de *Smart Home* pode ser definido como sendo uma habitação na qual existe uma rede de comunicação entre todos os equipamentos da casa permitindo o controlo, a monitorização e o acesso remoto de todas as aplicações e serviços do sistema de gestão da habitação [Peine-2009]. O sistema de gestão deve incluir funções avançadas, como a gestão dos veículos elétricos, a interface com os operadores externos, as funções

de segurança, etc.[Das, et al.-2002; Golzar, et al.-2010; Wi, et al.-2013], como apresentado na Figura 1.1. O consumidor dotado de um sistema inteligente para a gestão dos recursos energéticos permite a interação com o operador de sistema, fomentando desta forma a participação do consumidor em eventos de *Demand Response*. A participação automática nos eventos de *Demand Response* é um exemplo interessante pois nestes eventos o sistema de gestão da casa deve reduzir o consumo de energia elétrica, não se baseando apenas nas informações internas, mas também na interação com uma entidade externa.

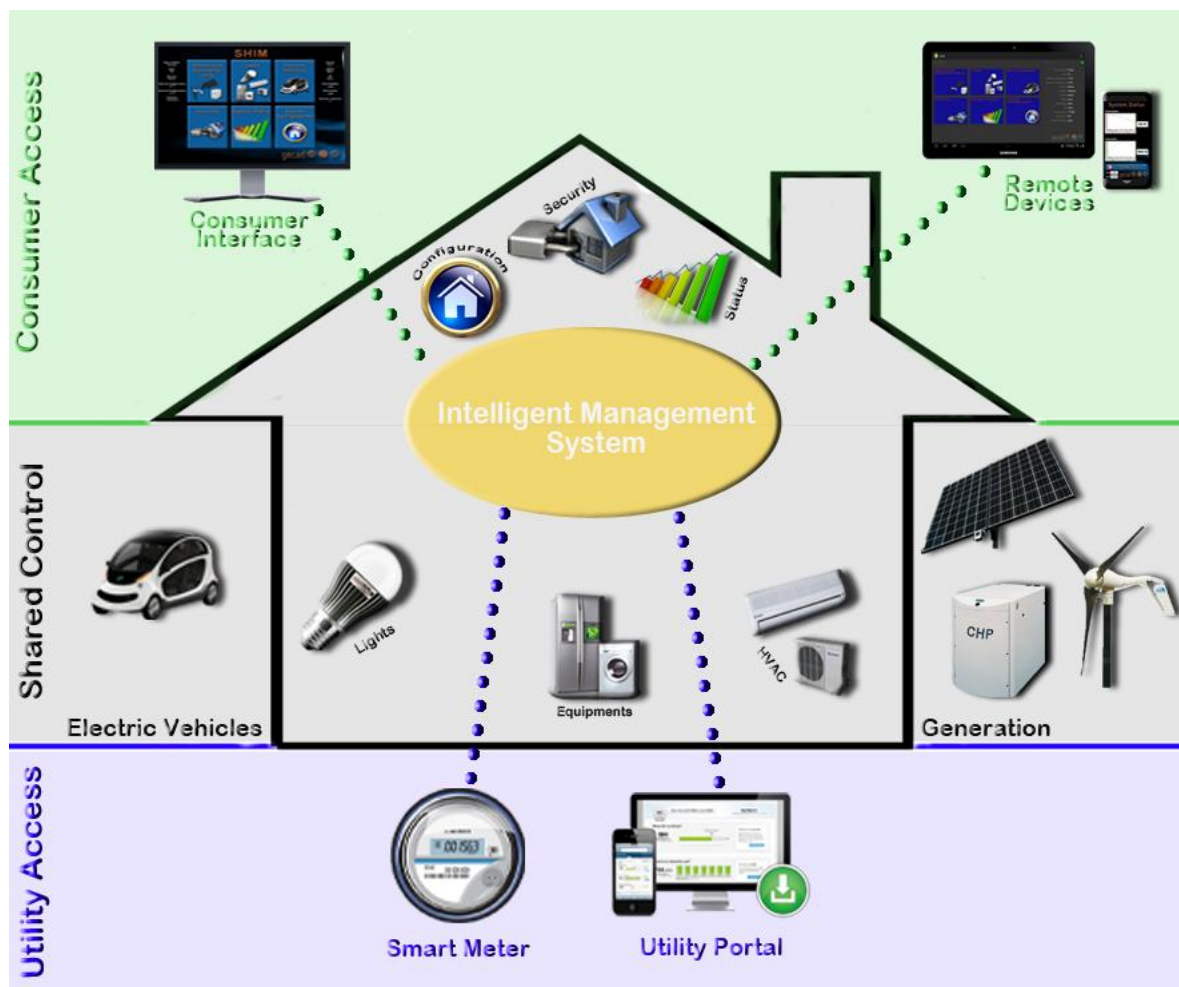


Figura 1.1 – Estrutura de uma *Smart Home* com aplicação *Smart Meter* para a gestão da energia.

Um outro aspeto relevante para a necessidade do desenvolvimento de *Smart Homes* é a importância dos consumos energéticos das habitações domésticas no consumo total da generalidade dos países desenvolvidos. Tendo como exemplo a Europa (EU-27), tem-se verificado um aumento do consumo gradual ao longo dos anos onde o sector residencial representava em 2010 cerca 29,7% do total da energia elétrica consumida [Agency-2013]. Já nos Estados Unidos da América os consumidores domésticos são responsáveis por 22% do consumo primário referente ao ano de 2011 [Administration-2013].

Apesar da importância da utilização de novos sistemas de gestão nas habitações domésticas e nos edifícios em geral, existe ainda um longo caminho a percorrer para que estes sistemas sejam usados regularmente. Várias barreiras persistem e têm vindo a inibir o desenvolvimento destes sistemas, nomeadamente a diversidade de tecnologias com funcionalidades muito diferentes o que gera desconfiança, o custo elevado, interfaces pouco intuitivos e eficazes, poupanças reduzidas, entre outros [Meyers, *et al.*-2010]. Neste sentido, é crucial a elaboração contínua de estudos para identificar as vantagens da implementação e uso de sistemas de gestão de energia elétrica para o controlo e monitorização dos consumidores finais.

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de gestão centralizado de uma habitação. Para além da implementação de todo o sistema de controlo (sensores, atuadores e sistema de controlo) o principal objetivo do trabalho aqui apresentado foi o desenvolvimento de algoritmos que permitam aos sistemas de gestão das habitações gerirem os equipamentos (cargas, unidades de produção e sistemas de armazenamento) de forma automática quando são impostos limites de potência consumida na instalação. Estes eventos podem ser despoletados por diferentes ações, nomeadamente por imposição dos utilizadores, em resposta às variações de preço da energia elétrica, em resposta às variações da própria produção ou por interação com o operador de sistema (ou entidades agregadoras) no âmbito de programas de *Demand Response*. Assim, a principal contribuição desta tese é o desenvolvimento de algoritmos que garantem um consumo máximo considerando diferentes recursos energéticos existentes nas habitações, nomeadamente diferentes equipamentos de consumo, produção e armazenamento (incluindo os veículos elétricos) de modo a minimizar o impacto no conforto dos utilizadores. De forma a expandir a aplicabilidade dos métodos propostos foi desenvolvido um mecanismo de variação dinâmica da importância de cada equipamento em função das suas características técnicas. Por fim foi efetuada uma análise técnico-económica da aplicação dos métodos desenvolvidos. Adicionalmente, o sistema proposto foi integrado numa plataforma de simulação de *Smart Grids* baseada num sistema multi-agentes permitindo testar e a avaliar o desempenho dos algoritmos de gestão desenvolvidos num contexto com diferentes níveis hierárquicos de decisão.

1.2. Objetivos

A exploração das redes elétricas encontra-se num processo de reestruturação e de mudança de paradigma. A descentralização das unidades de produção e a liberalização dos mercados elétricos potenciou o aparecimento de inúmeras entidades produtoras utilizando tecnologias distintas para a produção de energia elétrica. Um dos aspetos fulcrais é o desenvolvimento das tecnologias utilizadas no controlo das redes elétricas, sendo de

destacar a necessidade de utilização de tecnologias bidirecionais como são exemplo, os contadores inteligentes e os órgãos de comando controlados remotamente. Deste modo é possível obter uma maior capacidade de controlo e gestão do consumidor doméstico. Neste contexto, o controlo dos equipamentos existentes numa habitação é essencial para os seus proprietários e para o próprio operador da rede elétrica. No futuro, cada consumidor deverá ter a capacidade de controlar não só as cargas existentes na sua habitação como também as unidades de microgeração bem como, as cargas e descargas dos veículos elétricos. Neste sentido, o presente trabalho contribui com a conceção e desenvolvimento de ferramentas de apoio ao consumidor que permitem a gestão dos recursos existentes nas instalações consumidoras. As metodologias propostas são integradas no *SCADA House Intelligent Management (SHIM)* que permite a gestão dos recursos de acordo com o contexto do dia.

Os principais objetivos a atingir na realização deste trabalho são:

- Traçar perfis de utilização de uma habitação considerando as suas características internas e externas, nomeadamente, o número de pessoas dentro da habitação, a temperatura exterior, a hora do dia, o dia da semana, a estação do ano, o preço da energia elétrica e a produção instantânea da microgeração;
- Desenvolver metodologias de otimização dos consumos baseadas em dados de perfis de utilização, consumo e produção considerando eventos com diferentes durações;
- Conceção, desenvolvimento e implementação da plataforma de gestão SHIM;
- Implementação prática das metodologias desenvolvidas no trabalho;
- Análise eficiente da energia e do comportamento do consumidor doméstico de forma automática;
- Inclusão de todas as metodologias propostas e implementadas na plataforma de simulação de agregadores *Multi-Agent Smart Grid Simulation Platform (MASGriP)*.

1.3. Contribuições da Tese

As principais contribuições desta tese remetem para a interface desenvolvida e as metodologias propostas de apoio ao consumidor doméstico na gestão dos recursos energéticos existentes no âmbito das *Smart Grids*. O sistema deverá incluir algoritmos para gerir sistemas de consumidores com diferentes perfis e com diferentes tipos de equipamentos. Assim o sistema pode integrar as cargas (motores, iluminação, equipamentos, etc.), a produção distribuída (gerador eólico, painel fotovoltaico, cogeração), e os sistemas de armazenamento, principalmente os veículos elétricos com capacidade de

carga e descarga de energia elétrica. As metodologias propostas foram desenvolvidas e implementadas de modo a atualizar o SHIM. Neste sentido, foi desenvolvida uma interface para o SHIM de modo a permitir o acesso do utilizador ao controlo e monitorização dos vários recursos energéticos existentes no consumidor doméstico.

As metodologias propostas têm como objetivo obter a melhor gestão dos recursos energéticos de acordo com as necessidades dos utilizadores, o contexto do dia e das necessidades da rede elétrica. A arquitetura do sistema SHIM é apresentada na Figura 1.2 e é detalhadamente explicada na Secção 3.

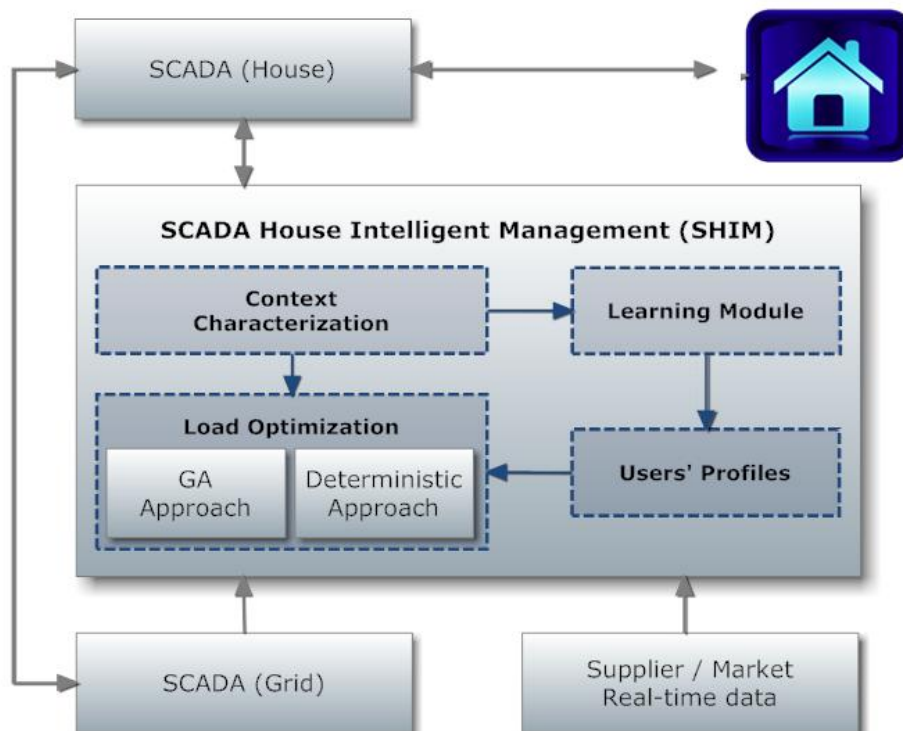


Figura 1.2 – Diagrama proposto para o Sistema SHIM.

O SHIM considera vários perfis de consumo baseado em consumidores reais com diferentes características e a utilização de perfis de consumo de determinadas cargas reais utilizadas por consumidores domésticos. Estes dados foram importantes para uma simulação aproximada da realidade de certas cargas em conjunto com as cargas efetivamente reais existentes no SHIM.

O SHIM é uma plataforma de simulação de um sistema de gestão de energia de um consumidor doméstico tendo em vista a integração dos consumidores nas *Smart Grids*. O desenvolvimento da interface para o SHIM (Figura 1.3) inclui diversos aspetos relacionados com os futuros consumidores domésticos onde é importante ter a informação dos vários recursos energéticos, para além de considerar também situações de eficiência energética e de segurança do sistema inteligente da casa.

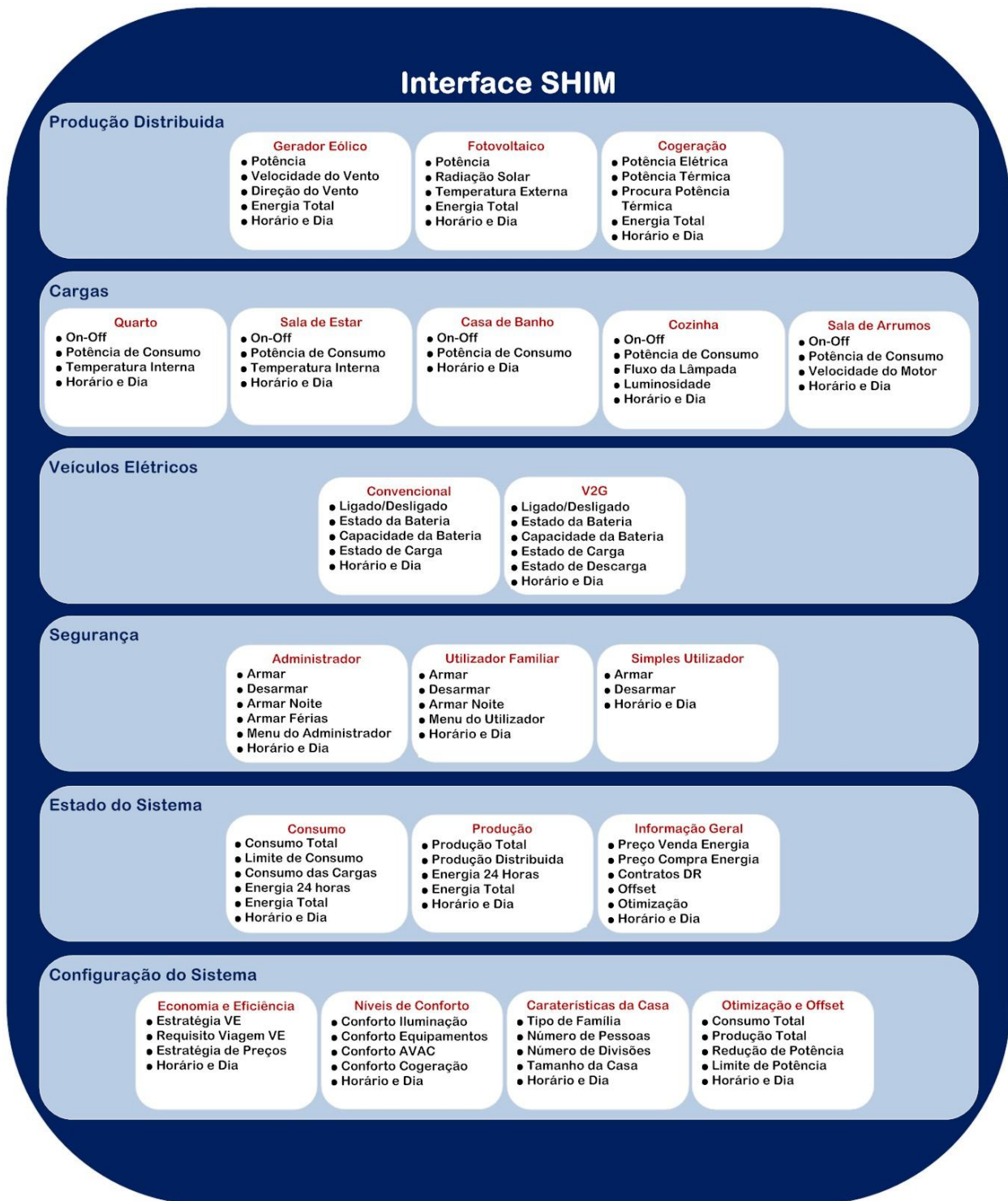


Figura 1.3 – Estrutura da interface do Sistema SHIM.

Os algoritmos desenvolvidos no âmbito do presente trabalho foram incluídos no módulo “*Gestão dos Recursos*” e visam garantir que o consumo da habitação seja inferior a um limite estipulado por um evento interno (ex. ordem do utilizador) ou externo (ex. evento de *Demand Response*). Estes algoritmos trazem um valor acrescentado e significativo ao Sistema SHIM pois proporcionam o aumento da eficiência energética da habitação, permitem a diminuição da fatura energética, otimizam os níveis de conforto dos

utilizadores em função dos seus perfis e permitem a participação automatizada em eventos de *Demand Response* facilitando a gestão do próprio operador de sistema.

De entre os algoritmos desenvolvidos considerando diferentes recursos energéticos, é de salientar o desenvolvimento de um algoritmo que ajusta dinamicamente a importância de cada equipamento em função das suas características técnicas, permitindo a gestão de recursos em situações em que os limites de consumo são baixos e se prolongam por períodos temporais elevados. Os casos de estudo desenvolvidos mostram a eficácia deste método num evento de *Demand Response* com duração de quatro horas.

O trabalho desenvolvido no âmbito da tese contribuiu para os resultados de alguns projetos financiados pela Fundação para a Ciência e Tecnologia – FCT e programas europeus como o FP7, no âmbito do Centro de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão – GECAD. Os projetos considerados foram:

- ViP-DiGEM - Virtual power Producers and Distributed Generation trading in Energy Markets (PTDC/ENR/72889/2006);
- CITOPSY - Cyber-Ambient Intelligent Training of Operators in Power Systems Control Centres (PTDC/EEA-EEL/099575/2008);
- ID-MAP - Intelligent Decision Support for Electricity Market Players (PTDC/EEA-EEL/099832/2008);
- FIGURE – Flexible and Intelligent Grids for Intensive Use of Renewable Energy Sources (PTDC/SEN-ENR/099844/2008);
- IMaDER – Intelligent Short Term Management of Distributed Energy Resources in a Multi-Player Competitive Environment (PTDC/SEN-ENR/122174/2010);
- ELECON – Electricity Consumption Analysis to Promote Energy Efficiency Considering Demand Response and Non-technical Losses, REA grant agreement (PIRSES-GA-2012-318912);
- GID-MicroRede – Sistema de Gestão Inteligente e Descentralizado de Micro-redes de Distribuição Privadas (ADI|QREN 34086);
- SASGER-MeC – Simulation and analysis of smart grids with renewable energy sources in the scope of competitive markets (NORTE-07-0162-FEDER-000101).

O trabalho desenvolvido nesta dissertação resultou em vários artigos científicos já publicados e alguns ainda em processo de revisão. Os seguintes artigos devem ser referenciados:

Um artigo científico em **revista**:

- Filipe Fernandes, Hugo Morais, Zita Vale, Carlos Ramos, "Dynamic load management in a smart home to participate in demand response events", Energy and Buildings, Volume 82, October 2014, Pages 592-606, ISSN 0378-7788, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.067>, IF(2013):2,465..

Dezasseis artigos científicos em **conferências internacionais** na área de investigação respetiva:

- Filipe Fernandes, Tiago Sousa, Marco Silva, Hugo Morais, Zita Vale, Pedro Faria, "Genetic Algorithm Methodology applied to Intelligent House Control", Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG) at the IEEE SSCI 2011 (IEEE Symposium Series on Computational Intelligence), Paris, França, Abril 11-15, 2011.
- Luis Gomes, Filipe Fernandes, Tiago Sousa, Marco Silva, Hugo Morais, Zita Vale, Carlos Ramos, "Contextual Intelligent Load Management with ANN Adaptive Learning Module", International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems - ISAP 2011, Hersonissos, Crete, Grécia, 25-28 Setembro, 2011.
- Filipe Fernandes, Pedro Faria, Zita Vale, Hugo Morais, Carlos Ramos, "Intelligent Management of End Consumers Loads Including Electric Vehicles through a SCADA System", 1st International Workshop on Information Technology for Energy Applications (IT4ENERGY'2012), vol. 923, Lisboa, Portugal, 6-7 Setembro, 2012.
- Filipe Fernandes, Hugo Morais, Pedro Faria, Zita Vale, Carlos Ramos, "Residential Energy Resources Management by a SCADA System in Case of Excess Wind Generation", First International Conference Energy, Environment and sustainability (EES2012), Porto, Portugal, 26-27 Setembro, 2012.
- Hugo Morais, Filipe Fernandes, Pedro Faria, Zita Vale, "Energy Efficiency Analysis Considering the Use of an Intelligent Systems Management in a Smart Home", First International Conference Energy, Environment and sustainability (EES2012), Porto, Portugal, 26-27 Setembro, 2012.
- Filipe Fernandes, Hugo Morais, Pedro Faria, Zita Vale, Carlos Ramos, "Combined Heat and Power and consumption Optimization in a SCADA-based System", 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (2012 ISGT EU), Berlin, Alemanha, 14-17 Outubro, 2012.
- Filipe Fernandes, Hugo Morais, Pedro Faria, Zita Vale, Carlos Ramos, "SCADA House Intelligent Management for Energy Efficiency Analysis in Domestic Consumers", 2013 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid

Technologies (ISGT Latin America 2013), São Paulo, Brasil, 15 a 17 de Abril de 2013.

- Luis Gomes, Filipe Fernandes, Pedro Faria, Zita Vale, Carlos Ramos, Hugo Morais, "Contextual Intelligent Load Management Considering Real-Time Pricing in a Smart Grid Environment", ISAP 2013 - 17th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems, Tóquio, Japão, 01-04 Julho, 2013.
- Hugo Morais, Zita Vale, Tiago Pinto, Luis Gomes, Filipe Fernandes, Pedro Oliveira, Carlos Ramos, "Multi-Agent Based Smart Grid Management and Simulation: Situation Awareness and Learning in a Test Bed with Simulated and Real Installations and Players", 2013 IEEE PES GM, Vancouver, British Columbia, Canada, 21-25 Julho 2013.
- Filipe Fernandes, Marco Silva, Pedro Faria, Zita Vale, Carlos Ramos, "Real-Time Simulation of energy Management in a Domestic Consumer", 4th IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (2013 ISGT EU), Lingby, Copenhaga, Dinamarca, 06-09 Outubro, 2013.
- Haroldo Amaral, André Souza, Filipe Fernandes, Zita Vale, Danilo Gastaldello, "Smart Metering Como Ferramenta de Eficiência Energética", V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE 2014), Paraná, Brasil, 22 - 25 Abril, 2014.
- Luis Gomes, Pedro Faria, Filipe Fernandes, Zita Vale, Carlos Ramos, "Domestic Consumption Simulation and Management Using a Continuous Consumption Management and Optimization Algorithm", 2014 IEEE Transmission & Distribution Conference & Exposition (T&D2014), Chicago, USA, 14-17 Abril, 2014.
- Luis Gomes, Haroldo Amaral, Filipe Fernandes, Pedro Faria, Zita Vale, Carlos Ramos, André Souza, "Dynamic Approach and Testbed for Small and Medium Players Simulation in Smart Grid Environments", 19th World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC 2014), Cidade do Cabo, África do Sul, 24 - 29 Agosto, 2014.
- Luis Gomes, Filipe Fernandes, Pedro Faria, Marco Silva, Zita Vale, Carlos Ramos, "Real-Time Simulation of Real-Time Pricing Demand Response to Meet Wind Variations" 5th IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (2014 ISGT EU), Istanbul, Turquia, 12-15 Outubro, 2014.
- Luis Gomes, Filipe Fernandes, Zita Vale, Pedro Faria, Carlos Ramos, "A Learning Algorithm and System Approach to Address Exceptional Events in Domestic Consumption Management", Symposium on Computational

Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG) at the IEEE SSCI 2014 (IEEE Symposium Series on Computational Intelligence), Orlando, Florida, USA, Dezembro 9-12, 2014.

- Luis Gomes, Filipe Fernandes, Pedro Faria, Marco Silva, Zita Vale, Carlos Ramos, "Contextual and Environmental Awareness Laboratory for Energy Consumption Management" Em revisão.

Estas contribuições científicas fomentam a relevância do trabalho desenvolvido no âmbito desta tese para a comunidade científica.

1.4. Visão Geral da Tese

Esta tese está dividida em cinco capítulos os quais são aqui sucintamente apresentados:

- Capítulo 1 – Introdução

O presente capítulo tem como objetivo apresentar a motivação inerente ao trabalho realizado, os principais objetivos definidos, assim como as principais contribuições resultantes dos métodos implementados. Adicionalmente é apresentada uma visão geral da estrutura da tese.

- Capítulo 2 – Gestão da Energia em Consumidores Domésticos

Este capítulo aborda a temática da gestão de energia nos consumidores domésticos através do enquadramento no consumo de energia elétrica nas redes inteligentes do futuro, da participação ativa na gestão de energia elétrica e dos sistemas de gestão inteligente de energia elétrica desenvolvidos para o consumidor doméstico.

- Capítulo 3 – SCADA House Intelligent Management – Desenvolvimento e Implementação

O capítulo 3 descreve o sistema para a gestão de energia de instalações domésticas, *SCADA House Intelligent Management* (SHIM). O Sistema integra funções avançadas de gestão permitindo o controlo de equipamentos reais, nomeadamente: cargas reais, sistemas de armazenamento (baterias de veículos elétricos), painéis fotovoltaicos, micro geradores eólicos, entre outros equipamentos. Neste capítulo é apresentada a interface do sistema de gestão e são apresentadas as várias metodologias desenvolvidas e implementadas no Sistema SHIM para a gestão de energia do consumidor doméstico.

- Capítulo 4 – Casos de Estudo

O capítulo 4 mostra os casos estudos desenvolvidos no âmbito da dissertação. Os casos de estudo foram desenvolvidos considerando cargas reais e virtuais (baseadas em

modelos) existentes no Laboratório de Sistemas Inteligentes de Energia (LASIE) do GECAD. Assim, torna-se fulcral conhecer as características dos diversos recursos de energia utilizados no sistema. Os resultados obtidos nas simulações são apresentados e discutidos em cada problema abordado no trabalho.

- Capítulo5 – Conclusões e Trabalhos Futuros

O último capítulo, sumariza a dissertação, apresenta as principais conclusões e enumera os trabalhos futuros que estão já em fase de desenvolvimento ou planeados para um futuro próximo. Além disso são discutidos as principais contribuições.

Capítulo 2

Gestão da Energia em Consumidores Domésticos

2. Gestão da Energia em Consumidores Domésticos

2.1. Introdução

Os consumidores finais são vistos, no novo paradigma da operação das redes elétricas, como intervenientes ativos com capacidade para gerir os seus recursos energéticos, nomeadamente as cargas, as unidades de produção, e os sistemas de armazenamento de energia, incluindo os veículos elétricos. Para que a participação ativa dos consumidores seja possível, várias abordagens têm vindo a ser propostas, com maior ênfase nas *Smart Grids* e nas *Microgrids*. Paralelamente, têm surgido outros conceitos como as *Smart Homes*, a *Smart Mobility*, os *Smart Buildings* ou os contadores inteligentes para citar alguns exemplos [Kok, et al.-2009]. Adicionalmente, é importante a utilização de equipamentos mais sofisticados e de metodologias de controlo mais avançadas de forma a ser possível a implementação de sistemas capazes de gerir toda a diversidade de equipamentos existentes numa habitação, assim como de interagir com os sistemas de gestão utilizados pelas *utilities*¹ - companhias prestadoras de serviços (eletricidade, água, comunicações, TV, etc) [Hammerschmidt, et al.-2010].

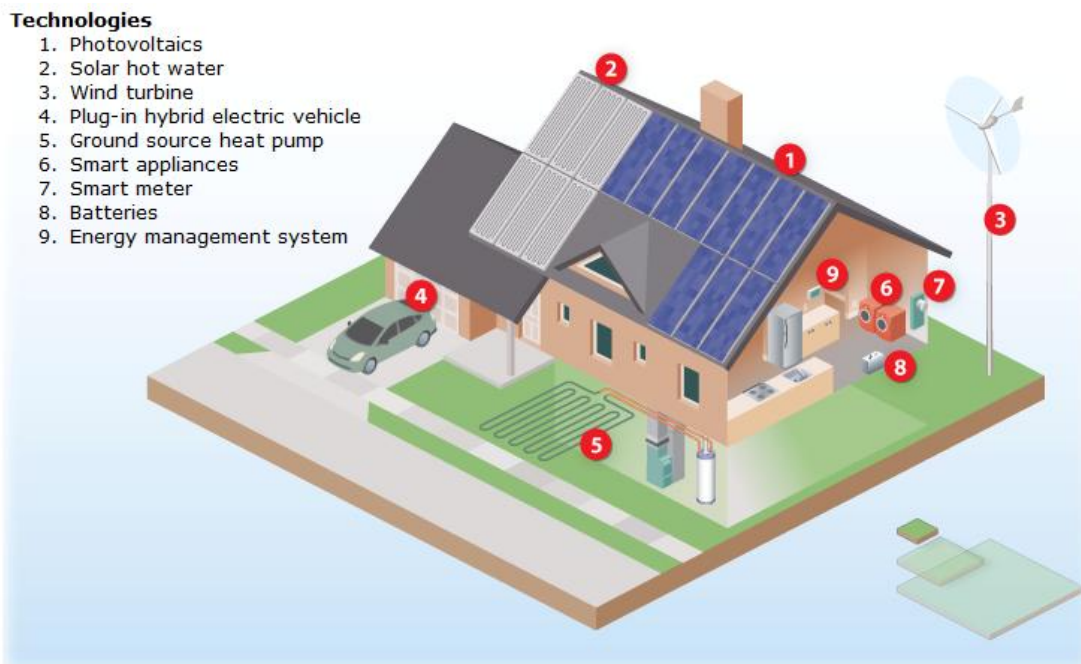


Figura 2.1 – Habitação com a integração de recursos energéticos [Laboratory-2012].

A Figura 2.1 apresenta a integração de vários recursos energéticos no sistema de gestão de uma habitação. Neste contexto, as *Smart Homes*² podem ser definidas como

¹ *Utilities* – Serviços de utilidade pública

² *Smart Homes* – Casas inteligentes

sendo edifícios de habitação que possuem uma rede de comunicação entre todos os dispositivos da mesma, permitindo o controlo, a monitorização e o acesso remoto a todas as aplicações e serviços do sistema de gestão [Jiang, *et al.*-2011]. O sistema de gestão deve incluir funções avançadas, como a gestão dos veículos elétricos, a interface com o operador da rede elétrica, funções de segurança, etc. [Das, *et al.*-2002; Golzar, *et al.*-2010; Wi, *et al.*-2013].

Uma das vantagens proporcionadas pelas *Smart Grids* é a possibilidade de os consumidores domésticos participarem em eventos de *Demand Response* (DR). Os programas de DR permitem uma gestão da rede elétrica mais eficiente por parte dos operadores das redes elétricas. Do ponto de vista dos consumidores, estes programas permitirão ter uma remuneração extra o que diminuirá a fatura energética a pagar.

2.2. Consumidores domésticos no panorama energético

Um dos objetivos principais dos sistemas elétricos é garantir a produção necessária para satisfazer a procura dos consumidores, onde se incluem os consumidores domésticos, comerciais e industriais. Contudo, estes consumidores têm características distintas, como por exemplo, o tipo de cargas que cada um utiliza. Segundo [Mehta, *et al.*-2005], existem cargas que caracterizam cada tipo de consumidor sendo que, para o consumidor doméstico, as cargas principais são os dispositivos de iluminação, os frigoríficos, as televisões, os ventiladores, os sistemas de aquecimento, os pequenos motores para a bombagem de água, entre outras, como apresentado na Secção 2.4.2 [Mehta, *et al.*-2005].

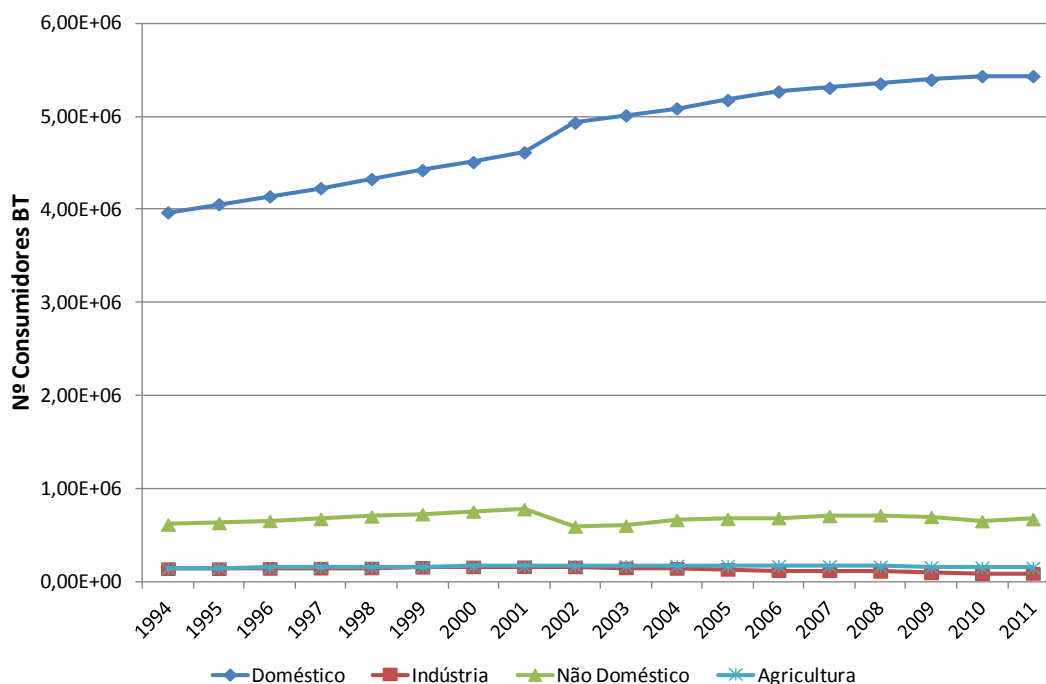


Figura 2.2 – Número de consumidores com contadores de baixa tensão instalados em Portugal (adaptado de [DGEG-2013a]).

Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), em Portugal, é possível verificar que os principais consumidores na Baixa Tensão (BT) são os consumidores domésticos (Anexo A). A Figura 2.2 apresenta a evolução do número de consumidores ligados à rede de BT entre os anos de 1994 e 2011 (o último ano com dados disponíveis). A Figura 2.3 apresenta o total da energia consumida em BT entre os anos de 1994 e 2011 para cada tipo de consumo. De acordo com as figuras, o número de consumidores domésticos tem vindo a aumentar progressivamente enquanto que, o consumo energético apresenta uma evolução mais irregular. Na Figura 2.2 é possível verificar que o número de consumidores não-domésticos (comerciais) em BT sofreu uma pequena redução em 2002.

Na Figura 2.3 verifica-se um aumento do consumo de energia nos consumidores domésticos sendo que em 1994 o consumo de energia elétrica era próximo de 8 TWh e em 2007 esteve perto dos 14 TWh. Já no ano seguinte, em 2008, verificou-se uma pequena redução no consumo tendo aumentado logo em 2009 e posteriormente em 2010. Já no último ano dos dados fornecidos, verifica-se outra vez uma redução no total do consumo de energia elétrica (um dos principais fatores será certamente a crise económica que se verifica no país). Esta redução de consumo em 2011 para os consumidores domésticos acontece também para os consumidores não-domésticos e os consumidores industriais. De salientar também o baixo consumo dos consumidores industriais comparativamente com os domésticos devido ao facto de os consumidores industriais estarem maioritariamente ligados à Média e Alta Tensão (AT) [DGEG-2013a].

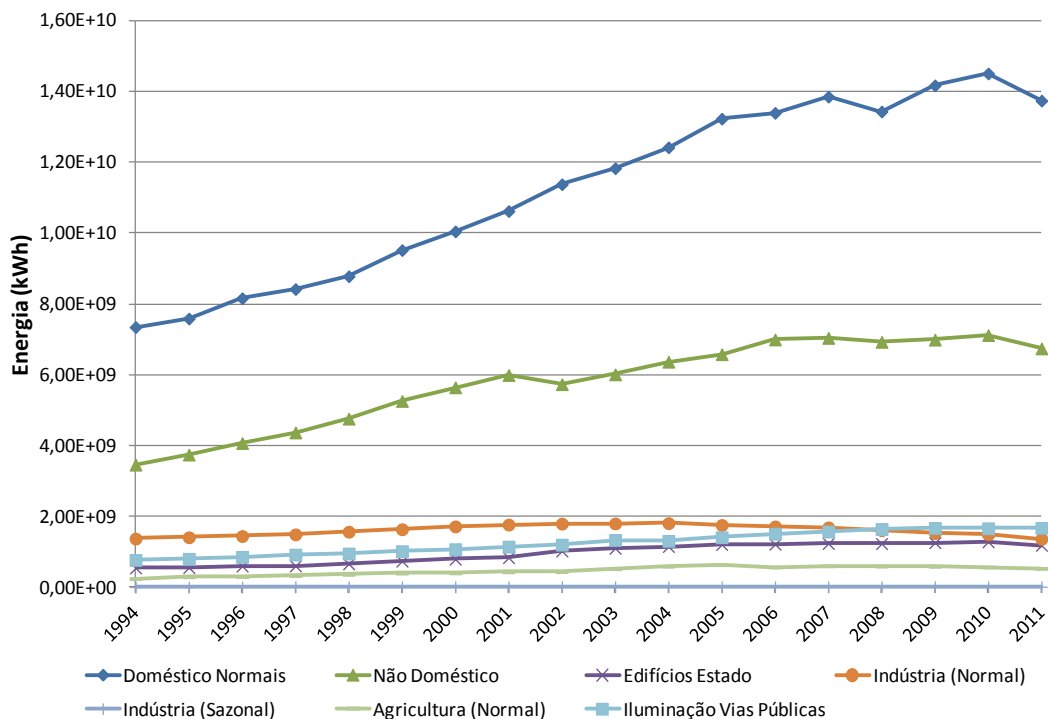


Figura 2.3 – Energia consumida em Portugal pelos consumidores com contadores em baixa tensão (adaptado de [DGEG-2013a]).

Como é possível observar na Figura 2.3, o consumo a nível doméstico quase que duplicou de valor entre 1994 e 2011. Por um lado subiu o número de consumidores domésticos e por outro, os hábitos de consumo dos mesmos alteraram. A cada dia surgem novos equipamentos (cargas) que são responsáveis pela alteração dos hábitos dos consumidores. As características individuais das cargas utilizadas nos consumidores domésticos são apresentadas na Secção 2.4.2.

Seguindo a mesma tendência, o consumo de energia no setor doméstico nos países desenvolvidos tem crescido progressivamente, sendo por isso necessário adotar soluções que visem contrariar esta tendência [Borg, *et al.*-2011; Choi, *et al.*-2012]. Na União Europeia (EU-27) os consumidores domésticos foram responsáveis por 29,7% do total da energia elétrica consumida no ano de 2010 [Agency-2013]. Já nos Estados Unidos da América, os consumidores domésticos são responsáveis por 22% do consumo primário referente ao ano de 2011 [Administration-2013]. Dada a importância do sector doméstico no consumo energético da generalidade dos países desenvolvidos, é importante acompanhar todos os desenvolvimentos no tratamento e gestão de consumo de energia elétrica residencial [Bonino, *et al.*-2012; Swan, *et al.*-2009]. Uma das primeiras abordagens adotadas foi a imposição de equipamentos mais eficientes. Apesar desta medida permitir a redução do consumo global das instalações, o uso de equipamentos mais eficientes não altera de forma significativa o perfil de consumo tradicional, tendo por isso pouco impacto na redução do consumo nos períodos de pico de consumo [Borg, *et al.*-2011]. Com o objetivo de tentar alterar o perfil de consumo tem sido proposto o uso de sistemas automatizados que informam o utilizador sobre os valores de consumo de energia nos momentos de maior necessidade para redução do consumo [Bonino, *et al.*-2012].

2.3. Participação ativa dos consumidores domésticos na gestão das redes inteligentes

Para os consumidores domésticos serem intervenientes ativos na gestão das redes elétricas, é importante a utilização de sistemas que permitam a gestão dos consumos elétricos, das instalações de produção distribuída, dos veículos elétricos e a participação do consumidor nos programas de *Demand Response*. Todas estas tecnologias, denominadas por recursos energéticos do consumidor doméstico, devem ser consideradas num sistema de gestão da habitação. Na gestão do consumo elétrico estão incluídas todas as cargas que o utilizador tem na sua habitação, algumas com regulação do consumo (as cargas variáveis) e outras do tipo On/Off (as cargas fixas). Os recursos de produção distribuída considerados no consumidor doméstico são em micro e pequena escala como, o gerador eólico, o painel fotovoltaico e a unidade de cogeração [Morais, *et al.*-2010]. Os veículos elétricos considerados podem ser de tecnologia "convencional" sendo necessário a carga

das suas baterias ou ter a capacidade de carga e descarga de energia para a rede (*vehicle-to-grid*), permitindo armazenar energia e potenciar as energias renováveis [Clement-Nyns, *et al.*-2010; Sousa, *et al.*-2012].

2.3.1. Consumidores no âmbito das *Smart Grids*

O aparecimento do conceito de *Smart Grid* tem como principal motivação permitir a integração de recursos energéticos distribuídos em todos os níveis de tensão, promovendo a participação ativa de consumidores, assim como a gestão mais descentralizada dos sistemas de energia. Para que as *Smart Grids* se tornem uma realidade, são necessários o desenvolvimento e utilização de metodologias complexas para permitirem a integração de todos os participantes e proporcionar a sua participação ativa na operação do sistema elétrico, permitindo deste modo obter grandes vantagens a diferentes níveis [Hammerschmidt, *et al.*-2010].

As infraestruturas das *Smart Grids* devem permitir suportar vários níveis de controlo e diferentes tipos de tarefas de um sistema SCADA de modo a gerir diferentes recursos e participantes da rede elétrica [Bose-2010]. O desenvolvimento do conceito de *Smart Grids* tem originado ao mesmo tempo uma evolução nos conceitos como as redes ativas, as *Microgrids*, os contadores inteligentes, a *Smart Building*, a *Smart Energy*, o *Virtual Power Plant (VPP)*, a *Smart Mobility*, a *Smart Home*, entre outros [Comission-2006; Hammerschmidt, *et al.*-2010; Hatziargyriou, *et al.*-2005; Hove-2008; USDE-2009; Vale, *et al.*-2011]. A Figura 2.4 apresenta o sistema elétrico para o enquadramento numa rede *Smart Grid*.

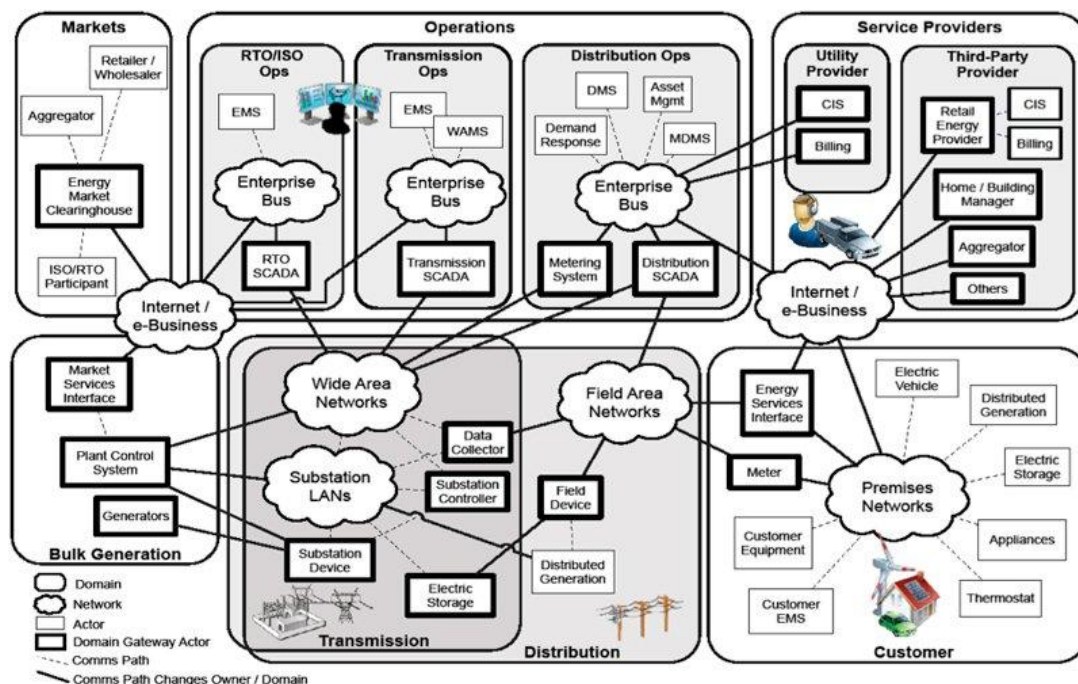


Figura 2.4 – Sistema elétrico num contexto de *Smart Grid* [Information-2012].

Uma visão ampla das *Smart Grids* permite concluir que estes sistemas podem integrar tecnologias como a produção distribuída que inclui as energias renováveis, a *Demand Response*, os recursos energéticos do lado da procura e os recursos para a eficiência de energia, as tecnologias e aplicações inteligentes de medição e monitorização da utilização de energia elétrica, as tecnologias de armazenamento de energia elétrica onde se podem incluir os veículos elétricos do tipo *Vehicle-to-Grid (V2G)* e os sistemas de ar condicionado que armazenam o calor nos seus termoacumuladores, e os padrões de comunicação de rede e interoperabilidade (capacidade de um sistema de comunicar de forma transparente com outros sistemas).

Sendo as *Smart Grids* um sistema dinâmico, rico em tecnologias de informação, é necessário ter sistemas de comunicação de alta velocidade e em tempo real. Para isso é essencial a instalação de sensores ao longo da rede que permitam uma resposta rápida aos diagnósticos realizados. Para aumentar a eficiência deste sistema, as ferramentas de apoio à decisão e de extração de conhecimento de bases de dados são imperiais. Tudo isto inclui as tecnologias de produção distribuída, sistemas de automação na rede, dispositivos de controlo de energia e sistemas automatizados para a utilização de energia elétrica no lado dos consumidores [White-2009].

2.3.2. Consumidores no âmbito das *Microgrids*

Atualmente existem diversas abordagens inclusivamente implementadas em projetos de demonstração, relativamente à arquitetura, aos princípios de operação e controlo e às questões económicas e regulamentares inerentes às *Microgrids*. Estas abordagens foram aparecendo devido à crescente necessidade de integrar os recursos energéticos distribuídos de pequena escala, como as unidades de cogeração, os geradores eólicos e os painéis fotovoltaicos, tendo sempre em consideração os requisitos exigentes na qualidade de energia, que obrigam à adoção de sistemas de controlo modernos [Venkataramanan, *et al.*-2008]. Tecnicamente, as *Microgrid* surgem na consequência da descentralização dos recursos energéticos devido à aplicação das novas tecnologias emergentes, onde se destacam as interfaces eletrónicas de potência e os dispositivos de controlo modernos [Marnay, *et al.*-2008].

Alguns autores como [Kroposki, *et al.*-2008] definem *Microgrids* como sendo ilhas intencionais nos sistemas de distribuição de energia elétrica, tendo pelo menos uma fonte de energia distribuída para satisfazer as cargas existentes. Estas ilhas estão localizadas a jusante de uma subestação de distribuição e que, para além de incluir diferentes tipos de consumidores de energia elétrica, inclui também consumidores de energia térmica. O ponto de ligação de uma *Microgrid* com a restante rede elétrica situa-se no barramento de baixa tensão do posto de transformação, denominado de Ponto de Acoplamento Comum (PAC) ou

Point of Common Coupling (PCC) [Katiraei, et al.-2008]. Assim, é possível ligar e desligar cargas e fontes de energia com o mínimo de interrupção possível para os consumidores finais [Association IEEE-2011].

Um dos principais desafios técnicos é a disponibilidade e a aceitação de tecnologias de baixo custo para serem instaladas e usadas nas *Microgrids*. O desenvolvimento destas tecnologias tem sido crescente, possibilitando uma interligação segura para a exploração das *Microgrids*. Os benefícios económicos e ambientais de uma instalação *Microgrid* dependem das suas capacidades de controlo, das características e estratégias operacionais, da penetração das unidades de produção distribuída, das características das cargas, das restrições da qualidade de energia na rede elétricas e das estratégias de participação nos mercados elétricos [Katiraei, et al.-2008].

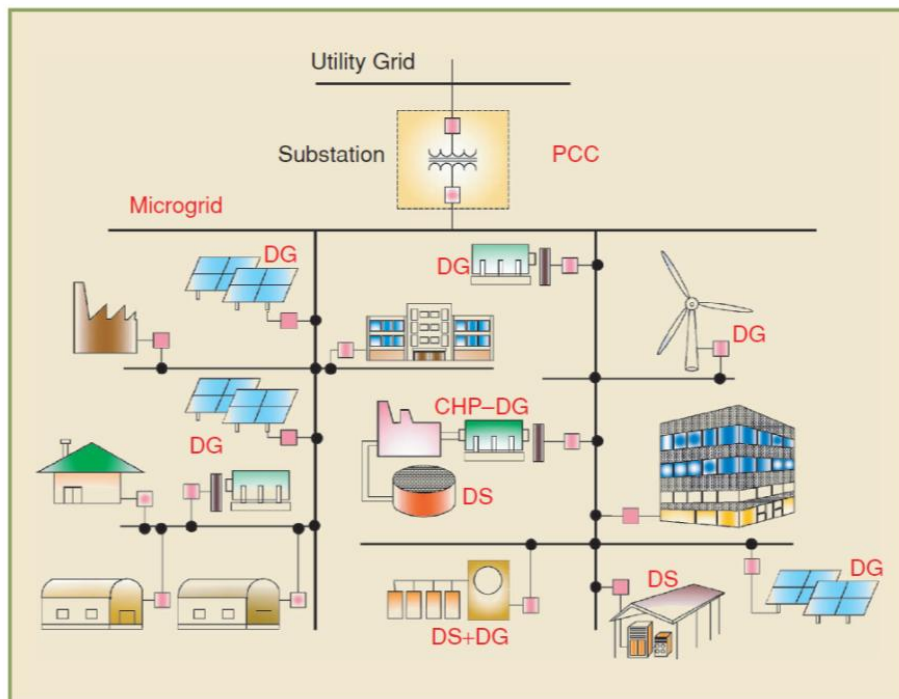


Figura 2.5 – Diagrama esquemático de uma *Microgrid* servido pelo sistema de distribuição [Katiraei, et al.-2008].

A Figura 2.5 apresenta um diagrama esquemático da constituição de uma *Microgrid* desde o ponto de ligação com a rede elétrica até ao consumidor final. Algumas razões que fazem diferenciar as *Microgrids* de um sistema elétrico convencional, são as características dinâmicas das unidades de produção distribuídas que são acopladas eletronicamente à rede. Deste modo, a rede está sujeita a significativos desequilíbrios devido à presença de cargas monofásicas e de unidades de produção distribuída. As unidades de armazenamento de energia podem desempenhar um papel importante no controlo e operação da *Microgrid* e, principalmente, a sua capacidade para operar ligado à restante rede elétrica ou em modo isolado [Katiraei, et al.-2008].

2.3.3. Utilização de contadores inteligentes

Se os consumidores de energia elétrica tiverem acesso aos valores de energia que estão a consumir e ao custo inerente ao consumo dessa energia, é possível tornar os consumidores ativos na gestão do consumo da sua habitação [Venables-2007]. Ao gerir o seu próprio consumo, estão a gerir a procura de energia elétrica, como já era abordado em [Rosenfeld, *et al.*-1986], isto é, os consumidores passam a ter uma participação ativa no setor energético [Morais-2010]. Aos equipamentos de medida que permitem a leitura eletrónica e registo dos valores do consumo de energia, comunicando a informação com outro equipamento (preços de energia, eventos especiais, ações de controlo, etc.), designam-se de contadores inteligentes. Os equipamentos de contagem inteligente mais avançados permitem, inclusivamente, ao operador da rede elétrica, detetar defeitos dos equipamentos e assim, realizar a atualização dos sistemas e equipamentos em falha [Venables-2007].

Este conceito está diretamente relacionado com o conceito de *Smart Grid*, apesar de ser tecnicamente possível desenvolver redes de *Smart Grid* e infraestruturas de contadores inteligentes de modo independente. No entanto, a instalação de contadores inteligentes é visto como um dos primeiros passos para a persecução das *Smart Grids* [ERGEG-2010]. Segundo o "*European Smart Metering Industry Group*", os contadores inteligentes são um importante contributo para o desenvolvimento de um sistema elétrico mais inteligente permitindo obter vantagens na gestão de diferentes recursos energéticos [ESMIG-2009a; ESMIG-; ESMIG-2009c; Stromback, *et al.*-2011], entre os quais os consumidores, as *Smart Homes*, a produção distribuída e renovável e os veículos elétricos. Com a evolução das tecnologias utilizadas nos contadores inteligentes é possível abranger mais sistemas para além do sistema elétrico, como por exemplo os sistemas de gás, de água e térmico. Deste modo, é possível obter uma rede de larga escala que congrega todos estes sistemas e implementar serviços para poupança de energia na instalação do consumidor [Benzi, *et al.*-2011].

Para além das vantagens proporcionadas aos consumidores, o mesmo se pode dizer para as companhias que comercializam a energia elétrica e que operam as redes elétricas [ESMIG-2009c; Stromback, *et al.*-2011], nomeadamente: redução dos custos de serviço, permite a prestação de serviços de energia, ajuda no desenvolvimento dos mercados de energia liberalizados, monitoriza os edifícios com produção distribuída, apoio nos programas de *Demand Response*, gestão da rede mais eficaz e novo canal de comunicação com os consumidores. Deste modo, os contadores inteligentes permitem fornecer, no âmbito das *Smart Grids*, tecnologia digital, comunicações, controlo e uma melhor operação da rede [ESMIG-2009a]. O relatório elaborado no âmbito do "*European Smart Metering Industry Group*" permitiu obter resultados do potencial e das limitações de uma série de

equipamentos e programas para o desenvolvimento das tecnologias de contadores inteligentes [Stromback, *et al.*-2011]. A Figura 2.6 apresenta um esquema onde considera a integração dos vários sistemas nos contadores inteligentes.

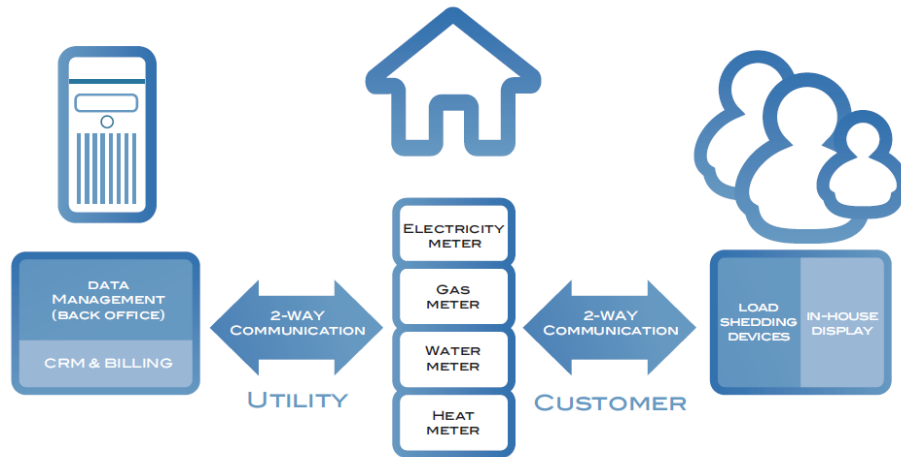


Figura 2.6 – Integração dos vários sistemas nos contadores inteligentes [ESMIG-2009a].

De acordo com a Comissão Europeia e os regulamentos internacionais, já foram desenvolvidos interfaces para contadores inteligentes, utilizando soluções tecnológicas disponíveis no mercado, e foram propostas arquiteturas para a implementação de uma rede com contadores inteligentes para os consumidores [Benzi, *et al.*-2011]. Em Itália, a utilização massiva de contadores inteligentes é já uma realidade abrangendo 85% dos consumidores de energia elétrica [Faruqui, *et al.*-2010]. Com o desenvolvimento nos veículos elétricos, mais concretamente, nos veículos do tipo V2G, também os contadores inteligentes já se desenvolvem para adaptar a esta tecnologia. Surgem, neste âmbito, comunicações bidirecionais e controlo-remoto entre o veículo V2G e a rede. Os contadores inteligentes são capazes de medir a tensão, a corrente, a potência ativa e reativa e os outros parâmetros do veículo elétrico de acordo com o esquema da Figura 2.7 [Libiao, *et al.*-2011].

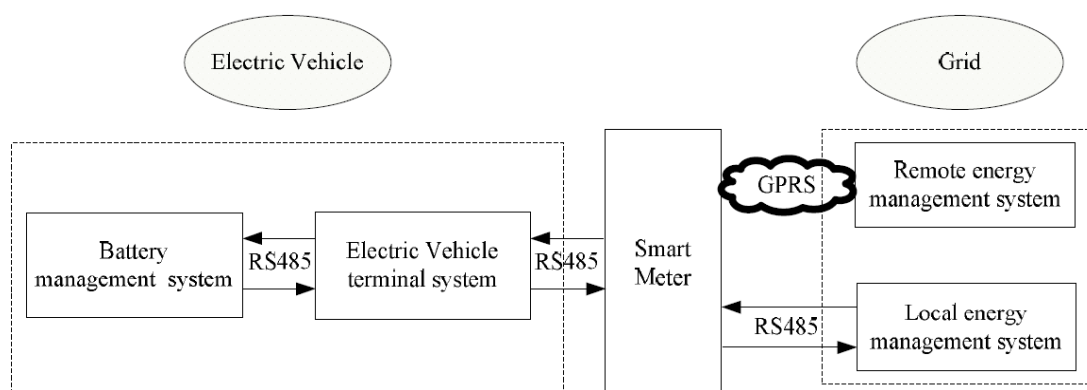


Figura 2.7 – Esquema de comunicação bidirecional entre o veículo e a rede elétrica [Libiao, *et al.*-2011].

Além das comunicações bidirecionais com erros inferiores que um contador inteligente deve ter, este deve ter também capacidade de interoperabilidade, isto é, que funcione com padrões de comunicação abertos. A instalação de equipamentos de medida na rede de distribuição elétrica já é, em alguns sistemas, bastante significativa e é por isso vital, segundo [Rahman, *et al.*-2011], combinar as tecnologias de comunicação com a interoperabilidade de referência de modo a facilitar a troca de informação entre os recursos energéticos e a rede, aumentando a estabilidade de operação.

A utilização de protocolos de comunicação adequados é essencial, pois permitem maior segurança na transmissão de dados nos contadores inteligentes. Em [Sungwook, *et al.*-2011] é proposto um protocolo que permite autenticar os dispositivos na rede e partilhar chaves de acesso entre os dispositivos intervenientes, uma transmissão segura na leitura dos dados e a anulação de dispositivos rejeitados na rede. Em suma, permite um bom reconhecimento dos dados e dos dispositivos. Em [IEEE-2012] são abordados os requisitos de medição dos dados sem fios e são propostas alternativas necessárias para a implementação de uma rede de comunicação local no âmbito de contadores inteligentes. Os esforços têm sido evidentes por parte das empresas de serviços públicos para que, os consumidores aceitem os medidores inteligentes nas suas habitações. Contudo, ainda existem barreiras que precisam ser ultrapassadas, tais como a necessidade de os consumidores verem benefícios reais com a implementação destes equipamentos, a preocupação com a precisão dos dados transmitidos e a privacidade dos mesmos, a falta de abertura para permitir às empresas de serviços públicos controlar os equipamentos da própria casa para garantir o equilíbrio de potência na rede elétrica quando contratados, entre outras [Davies-2012].

2.4. Gestão da energia no consumidor doméstico

Os estudos de sistemas de gestão de energia nas habitações começaram a ser desenvolvidos nos anos oitenta com a criação de alguns sistemas com aplicações rudimentares mas que permitiam o controlo remoto de alguns equipamentos e o tratamento de dados relativos à gestão da energia e de segurança [Gutzwiller, *et al.*-1983]. Neste período, alguns sistemas de controlo da energia consumida por ar condicionados surgiram com base em sistemas de controlo para aquecimento da água das habitações existentes no mercado [England, *et al.*-1985]. Um projeto denominado de *Residential Energy Usage Comparison (REUC)* foi promovido por uma empresa da Califórnia nos anos oitenta com o objetivo de analisar as técnicas inovadoras para a monitorização de dados de alguns consumidores. Para tal, foram utilizados equipamentos de aquisição de dados com a recolha realizada em intervalos de 5 minutos [Powers, *et al.*-1988a]. Neste projeto, foram também usados programas com diferentes métodos, entre os quais, o modelo da carga horária e o

modelo das horas de pico, de modo a avaliar a forma de onda da carga e os impactos económicos que advêm dela. Várias análises foram realizadas neste contexto de modo a verificar a utilidade e benefícios dos modelos para a gestão da energia dos consumidores domésticos [Eto, *et al.*-1988].

De uma análise da literatura é possível verificar que os trabalhos desenvolvidos na gestão do consumo de energia foram, inicialmente, centrados em sistemas de monitorização, de controlo, de gestão, de recolha e análise dos consumos, de modo a perceber os perfis de utilização dos vários consumidores, e os modelos que se podem aplicar de modo a reduzir o consumo [Powers, *et al.*-1988b; Ryan, *et al.*-1989]. O sistema desenvolvido por [Matty-1989] permite ao utilizador, através de uma interface, gerir a utilização da energia elétrica no aquecimento ou no arrefecimento da habitação tendo em consideração o conforto do utilizador e o preço da energia. Como conclusões deste trabalho, os utilizadores conseguiram reduzir os gastos com a energia elétrica. Segundo [Wacks-1991], a gestão da energia elétrica de uma habitação pode ser assegurada pela combinação do controlo de alguns equipamentos com a utilização de metodologias adequadas. Com esses desenvolvimentos, surge um sistema denominado de *Smart Home* [Stauffer-1991], onde se descreve os métodos de comunicação e de controlo, a arquitetura do sistema, os seus protocolos e estruturas. Deste modo, as *Smart Home* fornecem as funcionalidades necessárias de acordo com um ambiente de automação em residências da época.

2.4.1. Sistemas de gestão de energia

No final da década de 80 já se tentava obter uma visão do que seria uma casa inteligente para o ano de 2010, que atualmente se denomina por *Smart Home*. Nessa altura, já se previa a influência que a informação interativa e os sistemas de controlo iriam ter na gestão de uma habitação [Skrzypczak-1987]. Em [Douligeris-1993] é referido que com computadores de baixo custo e capacidades multimédia, era possível a implementação de sistemas de integração de dados e comunicações visuais no interior de uma habitação de modo a obter benefícios económicos. O conceito principal reside no controlo completo de todas os equipamentos elétricos utilizados na habitação. Segundo [Peine-2009], o conceito *Smart Home* surgiu com base em dois desenvolvimentos no início da década de 90. Esta ideia teve como função ligar serviços e equipamentos de uma habitação por meio de uma rede doméstica [Gann, *et al.*-1999; Harper-2003]. A classificação de uma *Smart Home* depende dos tipos de equipamentos e dos sistemas que estão instalados nessa habitação. Pode ter-se como equipamentos ou sistemas, o controlador, um sistema de comunicação da casa, protocolos de comunicação e interfaces de base para a comunicação entre equipamentos. Para o sistema ser mais completo, e com maior escolha de funcionalidades, são necessários controladores mais complexos, leitores de consumo, controladores para a

gestão da energia, aplicações de segurança, controladores de temperatura, entre outros. Para tal deve-se verificar a compatibilidade destas aplicações no sistema de gestão, de modo que seja possível a comunicação entre os vários circuitos, e a comunicação destes com o sistema de controlo [Stauffer-1991]. Neste sentido, a Figura 2.8 apresenta um modelo para um ambiente *Smart Home*.



Figura 2.8 – Modelo de um sistema de gestão em ambiente *Smart Home* [Jidong, et al.-2012].

Pelos trabalhos já desenvolvidos, é possível afirmar que um sistema *Smart Home* permite controlar de forma inteligente o conforto de uma habitação, com importantes reduções no consumo da energia elétrica das cargas e, ao mesmo tempo, não coloca em causa o conforto dos utilizadores da habitação. Por outras palavras, um sistema de gestão visa proporcionar aos utilizadores o máximo de conforto possível, com a minimização dos consumos energéticos e assim, reduzir os custos com a utilização e manutenção de uma habitação [Das, et al.-2006]. De acordo com [Jiang, et al.-2011], uma casa para ser considerada inteligente deve incluir três principais elementos: a rede de comunicação interna, os sistemas de controlo inteligentes e a automação da habitação. A automação da habitação é composta pelos atuadores e os dispositivos sensores, permitindo o controlo e a monitorização da casa. A rede de comunicação pode ser implementada de diversas formas: wire/wireless, baixa tensão/alta tensão (*Power Line Carrier*), etc. Os sistemas de controlo inteligente são todos os sistemas capazes de ler e interpretar a informação dos sensores, processar essa informação de uma forma inteligente e enviar as ações de controlo para os atuadores.

A aplicação e implementação de sistemas de gestão podem ter impacto na eficiência energética e na gestão eficiente das redes elétricas locais, como por exemplo, na redução no consumo de energia elétrica, no aumento da capacidade para aglomerar produção distribuída, na redução na operação das centrais de produção de energia elétrica, na

redução das perdas no transporte, no aumento do fator de potência na rede elétrica, na redução da necessidade de reforço da rede e na maior segurança na alimentação dos consumidores finais. Também existem estudos onde se congrega um modelo de gestão de energia da habitação com os recursos de produção distribuída e as cargas domésticas, de modo a proporcionar despachos económicos dos recursos energéticos utilizados [Jidong, *et al.*-2012]. Os sistemas de controlo da energia da habitação são propostos e testados laboratorialmente, de forma a fornecer serviços inteligentes para os utilizadores. Neste sentido, é possível obter práticas que conjugam os programas de *Demand Response* e a gestão do consumo da habitação, num sistema inteligente como apresentado em [Dae-Man, *et al.*-2010b]. Este sistema foi desenvolvido tendo em conta o documento padrão disponibilizado pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* que especifica o controlo de acesso para redes sem fio pessoais com baixas taxas de transmissão [IEEE-2003].

Usando metodologias de otimização, existem algumas ferramentas aplicáveis para o escalonamento ótimo dos recursos de energia existentes numa habitação, entre os quais, os painéis fotovoltaicos, o veículo elétrico do tipo *Vehicle-to-Grid (V2G)* e as cargas como os radiadores elétricos, os termoacumuladores e as bombas de água. No trabalho desenvolvido em [Pedrasa, *et al.*-2010], os autores utilizam o método *Particle Swarm Optimization (PSO)* para a otimização dos vários recursos ao longo do tempo de modo a maximizar os benefícios. Existem outros conceitos que usam métodos de inteligência artificial para controlo das habitações, como por exemplo, os sistemas de aprendizagem adaptáveis do tipo *Observe, Learn and Adapt (OLA)*. Assim é possível ao consumidor gerir e reduzir o consumo de energia de acordo com o contexto do dia [Qela, *et al.*-2012]. Relativamente ao escalonamento do consumo dos equipamentos, outros autores aplicaram técnicas de regularização onde modificam as variáveis inteiras para contínuas. Assim, é possível englobar vários equipamentos de forma mais simples no sistema de gestão [Tsui, *et al.*-2012]. É importante na gestão da energia manter uma boa relação entre a redução de energia e as preferências do utilizador. Um dos trabalhos propõe uma modelação de alto nível das cargas de acordo com as preferências do utilizador. Para isso utiliza a otimização de um problema *Boolean* restrito sendo enquadrado no ambiente inteligente da casa [Corno, *et al.*-2012]. De seguida são apresentados subcapítulos sobre as infraestruturas de comunicação, os protocolos de comunicação e os sistemas de gestão centralizados e descentralizados.

2.4.1.1. Infraestrutura de comunicação

As infraestruturas de comunicação são um elemento essencial numa *Smart Home* podendo ser desenvolvidas de formas diferentes tanto usando uma estrutura física (*Wire*)

como implementadas sem qualquer estrutura (*wireless*). Apesar do custo mais ou menos elevado inerente às redes físicas, quando comparado com as comunicações *wireless*, estas continuam a ter mais fiabilidade, principalmente em comunicações de longa distância, e permitem velocidades de transmissão superiores como é o caso das redes de fibra ótica [wiseGEEK-2014]. Relativamente às comunicações do tipo *wireless* tem-se verificado um aumento na sua utilização. Este aumento deve-se essencialmente à redução dos custos de implementação, à flexibilidade que a estrutura permite e à facilidade na instalação [Sharma-2013]. Uma das características mais importantes da infraestrutura de comunicação *wireless* é a viabilidade na comunicação sem uma ligação física entre dois pontos [Tsado, et al.-2014].

Considerando as vantagens e barreiras de cada tecnologia, é fundamental compreender o tipo de estrutura adequada para que a rede de comunicação seja a mais eficaz para o sistema pretendido. Em grande parte dos sistemas a opção mais confiável para uma rede de comunicação numa habitação é a abordagem tradicional utilizando uma estrutura física [wiseGEEK-2014]. A Figura 2.9 apresenta a rede de um sistema de gestão de energia baseado no *Energy-aware Plug and Play (EPnP)* que permite reduzir o consumo de energia dos equipamentos sem a atuação direta dos utilizadores e usa para isso os dois tipos de infraestrutura *wire* e *wireless* [Youn-Kwae, et al.-2008].

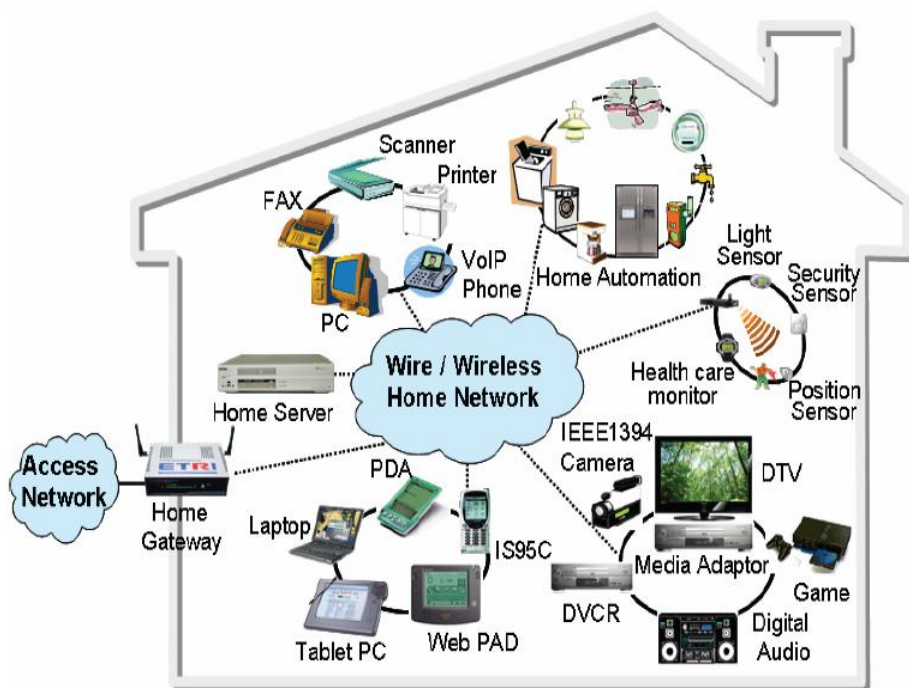


Figura 2.9 – Infraestrutura de comunicação de um sistema de gestão de energia numa habitação [Youn-Kwae, et al.-2008].

De entre estas duas infraestruturas de comunicação as tecnologias de comunicação mais usadas nas redes inteligentes são: cablagem dedicada, a *Power Line Communication (PLC)*, o *ZigBee*, o *Wi-Fi*, o *WiMAX*, a *General Packet Radio Service (GPRS)* e o *DASH7*

[Usman, *et al.*-2013]. Muitos sistemas propõem a utilização de cablagem específica usando, normalmente, protocolos próprios, sendo estes transmitidos em baixa tensão (5 a 50 V).

A tecnologia PLC introduz um sinal na onda portadora modulada sobre a infraestrutura do cabo de transmissão de energia existente, para a comunicação. No caso de uma casa inteligente, a utilização da tecnologia PLC permite que a informação dos equipamentos de controlo e monitorização da casa estejam ligados pelos próprios cabos que fornecem energia elétrica [Yu-Ju, *et al.*-2002]. A principal limitação desta tecnologia nas aplicações de casas inteligentes é a indisponibilidade de normas em comparação com outras tecnologias [Plan-2010].

No caso das tecnologias *wireless*, a tecnologia *Wi-Fi* tem um desempenho muito interessante suportando para isso os protocolos baseados em endereços IP. Esta tecnologia de comunicação é do tipo ponto-a-multiponto e são implementados recursos de segurança para manter a segurança e a autenticação da comunicação [Alliance-2010]. Este tipo de comunicação é bastante flexível permitindo a comunicação com dispositivos de medida mas também a comunicação direta com diversos tipos de equipamento. Uma aplicação para a leitura dos dados de um medidor através da tecnologia *Wi-Fi* é apresentado em [Li, *et al.*-2011].

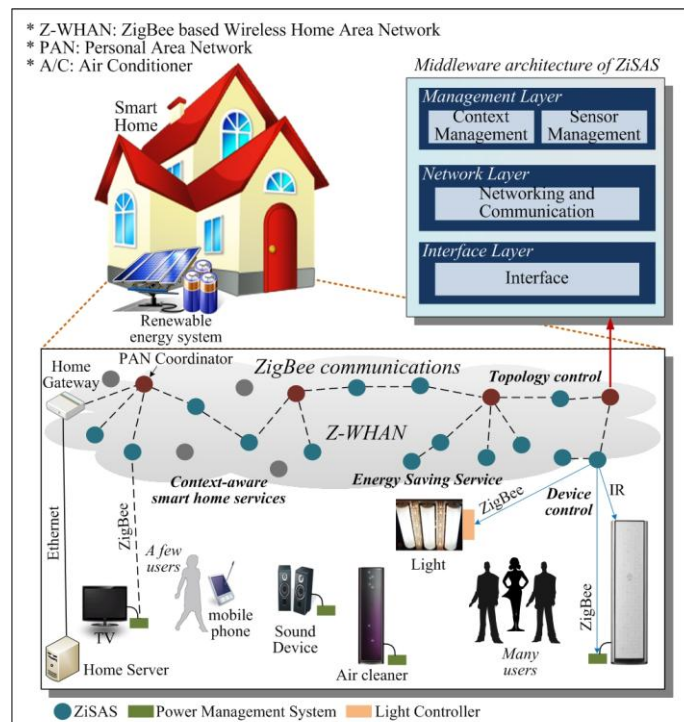


Figura 2.10 – Arquitetura de um sensor *Self-adjusting* na comunicação *ZigBee* [JinSung, *et al.*-2012].

Uma das mais utilizadas é a tecnologia *ZigBee*, a qual permite, em determinados sistemas com um controlador remoto, a gestão dos equipamentos da habitação [Jinsoo, *et al.*-2009]. Adicionalmente, foram desenvolvidos algumas interfaces e dispositivos, de modo a comunicarem com equipamentos tipo *ZigBee* como por exemplo os analisadores de

energia elétrica [Dae-Man, *et al.*-2010b]. A rede de comunicação usada através do *ZigBee* tem como base um padrão de controlo de acesso e de camada física para áreas de redes pessoais de comunicação, denominado de IEEE 802.15.4 [Dae-Man, *et al.*-2010a; Erol-Kantarci, *et al.*-2011; Jinsoo, *et al.*-2011; JinSung, *et al.*-2011]. A Figura 2.10 apresenta uma arquitetura baseada na comunicação *ZigBee*.

A tecnologia *GPRS* utiliza a transferência de “pacotes” de dados da comutação de circuitos da rede *Global System for Mobile (GSM)*. Isso permite a utilização de aplicativos baseados em endereços de IP sendo que a taxa de dados é muito maior em comparação com o GSM. Esta tecnologia permite ser utilizada em diversas aplicações para o controlo e monitorização das cargas de um consumidor. Com a aplicação desta tecnologia o utilizador da casa consegue estar sempre em contacto com a sua casa através do seu telemóvel [Usman, *et al.*-2013].

A tecnologia *DASH7* é uma nova tecnologia de rede *wireless* usando o padrão ISO/IEC 18000-7. Este tipo de tecnologia tem alcance típico de 250 metros e que pode ser extensível até aos 5 quilómetros com taxas de comunicação entre 28 e 200 *kbps* [Norair-2009]. Para aplicações em sistemas de gestão de energia, o *DASH7* pode ser uma boa alternativa para a solução *ZigBee*. Nas infraestruturas de comunicação das casas, o *DASH7* necessita de um menor número de nós e menos tempo de comunicação, sendo estas as principais vantagens desta tecnologia em comparação com outras [Usman, *et al.*-2013].

2.4.1.2. Protocolos de comunicação

As tecnologias de comunicação são muito importantes para o desenvolvimento dos sistemas de gestão de energia dos consumidores domésticos, sendo importante conhecer os protocolos de comunicação utilizados para esse fim. O protocolo de comunicação mais usado atualmente é o *KNX*. Este é um protocolo *standard* aberto desenvolvido especificamente para a gestão de edifícios. Este protocolo permite que todos os equipamentos da instalação doméstica comuniquem através da mesma linguagem. Através do protocolo *KNX*, todos os equipamentos são ligados num barramento sendo possível trocar toda a informação sobre o estado de cada equipamento. Os equipamentos ligados podem ser sensores ou atuadores necessários ao controlo e gestão dos edifícios, tais como: iluminação, estores, sistemas de segurança, gestão de energia, aquecimento, sistemas de AVAC, sistemas de monitorização e sinalização, controlo remoto, contagem, controlo de áudio/vídeo, eletrodomésticos, etc. As funções fornecidas por este protocolo, podem ser controladas, monitorizadas e sinalizadas através de um sistema único descentralizado [KNX-2014].

A Figura 2.11 apresenta a topologia de um sistema de aplicação do protocolo *KNX* sem um servidor central sendo que o controlo pode ser realizado diretamente por uma

consola tátil ou por dispositivos móveis. Esta topologia pode ter problemas no estado dos diferentes equipamentos do barramento *KNX* se o sistema estive a usar várias consolas ou outros dispositivos HMI.

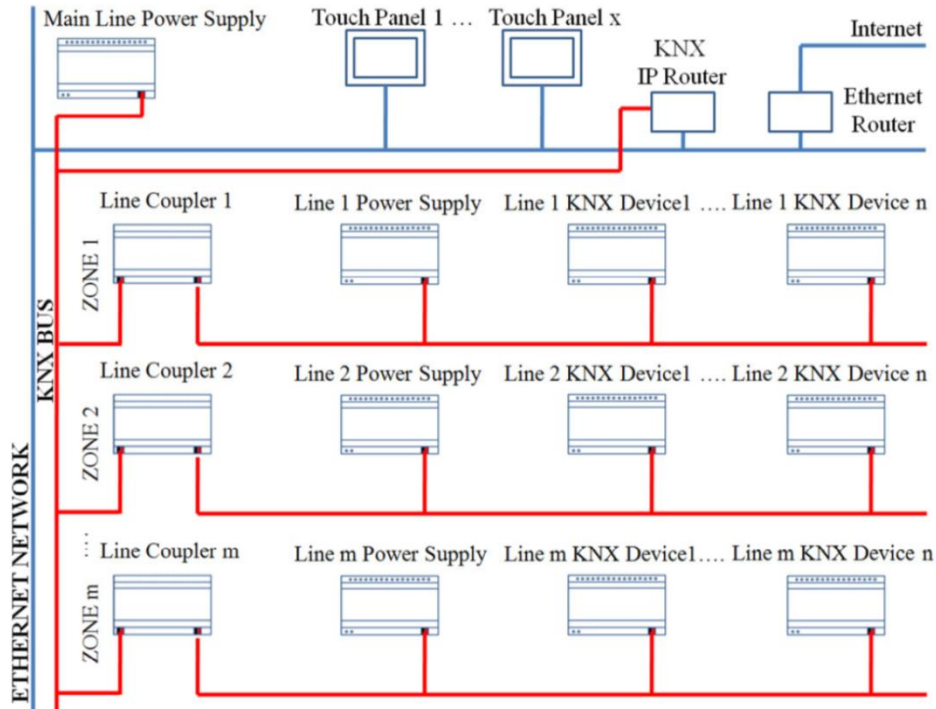


Figura 2.11 – Sistema de automação de um edifício utilizando o protocolo de comunicação *KNX* [Sita, et al.-2014].

De acordo com [Sita, et al.-2014], se o protocolo *KNX* for usado em todos os sistemas de gestão das casas, estes podem ser integrados num sistema de automação geral resultando num sistema padronizado. Neste trabalho o objetivo foi criar um sistema de gestão de recursos de um grande conjunto de consumidores e com a utilização deste protocolo foi possível interconectar todas as casas.

O protocolo de comunicação *Modbus* é usado em sistemas SCADA para obter a comunicação entre o HMI e o autómato, e comandar atuadores. Este protocolo tornou-se num padrão para os sistemas de controlo industriais e atualmente é um protocolo livre de taxas. Sendo que este protocolo indica que o modelo corresponde à comunicação do tipo servidor para com os clientes, isto é, tem uma unidade central no sistema. O protocolo *Modbus* pode utilizar para a comunicação física os modos serial RS-232 ou RS-485 ou modo de *Ethernet* (IEEE 802.3). Neste sentido, os modos serial RS-232 e o RS-485 podem utilizar dois modos de transmissão, o RTU ou ASCII. O modo *Ethernet* utiliza o modo de transmissão TCP [Automações-2009]. Para detetar intrusões no protocolo é bastante importante a implementação de um sistema de deteção de intrusão como por exemplo o apresentado por [Goldenberg, et al.-2013].

2.4.1.3. Gestão centralizada/descentralizada

Nestes últimos anos tem-se assistido a desenvolvimentos no âmbito das *Smart Home*, onde existe uma unidade de controlo central e todas as aplicações existentes na habitação funcionam como uma única unidade, onde o controlador central aproveita a informação do *feedback* recebido das aplicações da habitação para ter conhecimento real dos hábitos dos utilizadores. Neste sentido, existem vários sistemas com gestão centralizada como o apresentado em [Jihua, et al.-2012]. Com todos estes desenvolvimentos, é cada vez mais importante a utilização de equipamentos de medição de energia. Estes permitem também identificar e localizar os equipamentos que estão ativos. Outro exemplo de um sistema centralizado é apresentado em [Yi, et al.-2011]. O sistema *PowerFlexHouse* controla cargas como a iluminação, sistemas AVAC ou frigoríficos, sendo o controlo realizado remotamente por um controlador central do sistema. Este controlador central da casa permite comunicar com o sistema da rede elétrica. O controlador consegue aceder a várias informações do sistema da rede elétrica, por exemplo, o preço dinâmico da energia ou a potência disponível na rede.

Um sistema HEMS desenvolvido por [Young-Sung, et al.-2010] é baseado em sistemas de *Power Line Communication (PLC)* que é agregado a equipamentos de contadores inteligentes de modo a obter informações detalhadas para identificar os perfis de consumo dos utilizadores e, ao mesmo tempo, controlar os equipamentos da habitação. Este sistema desenvolvido é composto por três funções, a monitorização dos consumos em tempo real, o planeamento inteligente no controlo das cargas e a otimização do consumo de energia. Este sistema implementado tem uma gestão descentralizada onde cada dispositivo instalado tem programas de controlo exclusivos, neste caso, cada dispositivo tem um controlo inteligente. No sistema desenvolvido no [Sita, et al.-2014], existem implementados nas habitações sensores e atuadores, e onde cada equipamento tem o seu próprio controlo de modo a tomar as suas decisões. O protocolo de comunicação *KNX* utilizado permite o controlo descentralizado de equipamentos de iluminação, de sistemas AVAC, de sistemas de segurança, entre outros exemplos mencionados no trabalho.

2.4.2. Gestão de cargas, equipamentos e eletrodomésticos

As características das cargas utilizadas numa habitação são cada vez mais diversificadas e sofisticadas, tendo os equipamentos eletrónicos cada vez mais preponderância. Existem cargas que são comuns a qualquer tipo de habitação, independentemente da sua dimensão e arquitetura. A maior diferença está na quantidade e na potência das cargas utilizadas. Por exemplo, uma habitação do tipo T0 (*Studio*) deverá ter o mesmo tipo de equipamentos que uma habitação do tipo T4, nomeadamente, televisor, frigorífico, sistema de aquecimento/arrefecimento, sistemas de iluminação, etc.

Gestão Inteligente de uma Habitação considerando o Controlo de Cargas, de Microgeração e Veículos Elétricos em Função do seu Perfil de Utilização

Dentro dos equipamentos inumerados, é possível referir que, o que normalmente tem maior impacto no consumo total da habitação é o sistema de aquecimento/arrefecimento. Entre os equipamentos utilizados numa habitação, alguns são tipicamente utilizados em determinadas divisões da habitação, sendo outros comuns a qualquer divisão. Tendo em conta a pesquisa realizada, [Alaskan-2008; Electropaedia-2005; Footprint-; Lighting-; Ravibabu, *et al.*-2009; Smith-2006; Visualization-], foi elaborada a Tabela 2.1 que apresenta alguns exemplos de equipamentos por divisão numa habitação.

Tabela 2.1 – Alguns tipos de cargas a utilizar por divisão numa habitação.

Carga	Cozinha	Casa de Banho	Escritório	Quarto	Sala de estar	Lavandaria	Garagem	Jardim
Aparelhagem de som			X	X				
Ar condicionado			X	X	X			
Arca frigorífica	X							
Aspirador de mão						X		
Barbeador		X						
Cilindro elétrico	X	X						
Computador			X					
Cortador de relva								X
Exaustor	X							
Ferro de engomar						X		
Forno	X							
Frigorífico	X							
Impressora			X					
Lâmpada economizadora	X	X	X	X	X	X	X	X
Lâmpada fluorescente	X	X	X	X	X	X	X	X
Lâmpada halógena								X
Máquina de café	X							
Máquina de lavar						X		
Máquina de lavar loiça	X							
Micro-ondas	X							
Plasma			X					
Porta automática							X	X
Portátil			X	X				
Secador de cabelo		X						
Sistema de segurança	X	X	X	X	X	X	X	X
Televisão	X		X	X	X			

As cargas utilizadas num consumidor final têm diferentes tipos de controlo, sendo necessário identificar quais os tipos de controlo existentes por cada tipo de carga. A Tabela 2.2 apresenta o tipo de controlo por cada carga. Em [Soares, *et al.*-2012] são descritos quatro tipos de cargas segundo a sua possibilidade de controlo:

- Cargas incontrolláveis: são cargas que não podem ser desligadas por qualquer sistema automático;
- Cargas parametrizáveis: são cargas em que os parâmetros de funcionamento podem ser alterados;
- Cargas interruptíveis: são cargas possíveis de interromper por um determinado período de tempo;
- Cargas deslocáveis: são cargas que podem ser utilizadas num período diferente do habitual.

Tabela 2.2 – Tipos de controlo por carga de uma habitação (adaptado de [Soares, *et al.*-2012]).

Cargas	Incontrolável	Parametrizável	Interruptivo	Deslocável
Máquina de secar roupa				X
Máquina de lavar roupa				X
Máquina de lavar loiça			X	X
Cilindro elétrico		X	X	X
Aquecedor		X	X	
Ventoinha		X	X	
Frigorífico		X	X	
Arca congeladora		X	X	
Iluminação	X			
Equipamentos de entretenimento			X	
Equipamento de escritório	X			
Forno	X			

Cada tipo de carga tem um impacto específico no consumo total da habitação e diferentes períodos de funcionamento, como se pode ver na Figura 2.12 e na Figura 2.13.

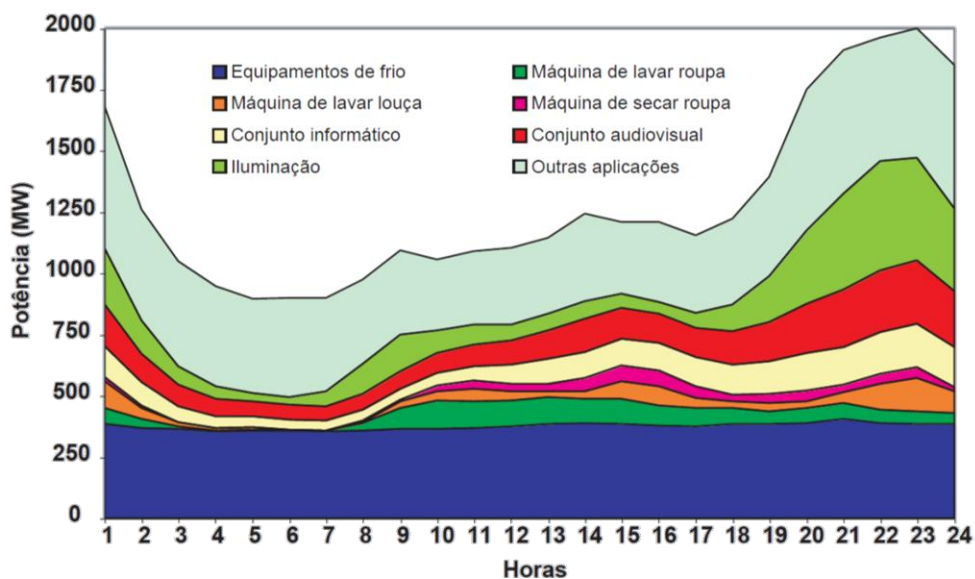


Figura 2.12 – Diagrama de carga para o setor doméstico português por tipo de carga [IP-3E-2004].

Em Portugal, de acordo com a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) [DGEG-2013b; PER-2013] é possível afirmar que:

- As cargas como os frigoríficos e arcas congeladoras são cargas consumidoras ao longo das 24 horas e apresentam grande importância no consumo total;
- As cargas como máquinas de lavar loiça ou roupa são cargas que funcionam normalmente pela manhã (lavar roupa) ou no final das refeições (lavar loiça);
- Os equipamentos de escritório e de entretenimento têm um consumo considerável. Ao longo da noite, o consumo destes equipamentos resume-se ao modo de *standby*;
- Os cilindros elétricos têm o pico de consumo normalmente no início da manhã;

Os sistemas de aquecimento/arrefecimento são usados ao longo do dia e não têm muito impacto no consumo total da habitação em comparação com outros tipos de consumidores como os industriais ou comerciais.

Perante o consumo verificado pelas cargas no consumo total de uma habitação, vários são os desenvolvimentos de modo a reduzir o consumo total verificado e otimizar a utilização das cargas, tendo em atenção os momentos onde não é necessário ter determinado equipamento ligado ou optar por ligar determinada carga em momentos onde a produção é bem superior à procura, e deste modo, ter uma participação ativa na gestão da rede.

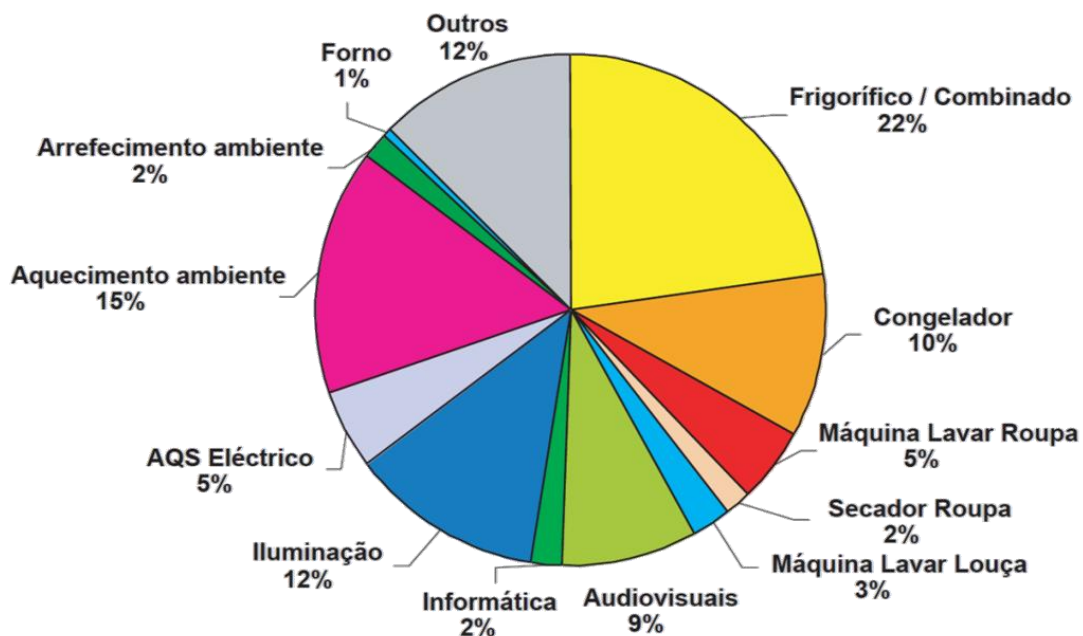


Figura 2.13 – Percentagem, do consumo total, por cada tipo de carga no setor doméstico português [IP-3E-2004].

Tudo isto permite a redução dos custos, quer para o consumidor final, quer para o fornecedor de energia e operadores de rede. Neste sentido, em [Soares, *et al.*-2012] é

proposto um sistema para gestão dos recursos energéticos de uma habitação, tendo em conta as tarifas dinâmicas e as restrições para a qualidade de serviço. Casos como a influência das características de uma habitação no consumo de energia elétrica [McLoughlin, *et al.*-2012], ou o efeito que tem a implementação de cargas mais eficientes no consumidor doméstico em substituição de outras [Borg, *et al.*-2011], são analisados e testados. Também foram desenvolvidas metodologias para a gestão das cargas ao longo do período de pico do diagrama de cargas como apresentado em [Ravibabu, *et al.*-2009]. Por último, [Elphick, *et al.*-2009] trata as características da qualidade de energia devido ao aumento da utilização de cargas eletrónicas que provocam problemas com os harmónicos.

Alguns trabalhos são realizados de modo a controlar cargas específicas de uma habitação, como por exemplo, a regulação do termóstato de acordo com os preços da energia e as previsões de consumo. Neste controlo individual de cargas, é importante ter em atenção os níveis de conforto do utilizador sempre com o objetivo de minimizar os custos com o consumo de energia elétrica. Relativamente ao aquecimento de água, existem modelos físicos para modelar a dinâmica térmica do aquecimento da água, e existem modelos estatísticos para modelar o consumo aleatório de água. Com estes modelos é possível efetuar uma previsão do funcionamento deste tipo de equipamento ao longo do tempo. Para isso, pode-se utilizar um algoritmo do tipo *Multiloop*. Esta ferramenta permite criar horários de funcionamento dos equipamentos nas habitações, de modo a obter a melhor gestão de energia ao longo do dia [Pengwei, *et al.*-2011].

Tendo em conta a gestão inteligente de sistemas de ar condicionado, foi proposto um modelo em [Ying-Yi, *et al.*-2012] que tem como principal objetivo gerir a temperatura ideal para um determinado ar condicionado, de acordo com o preço de energia elétrica para o dia seguinte e as previsões da temperatura exteriores. De acordo com estas previsões, o método aplicado faz a previsão da temperatura ideal de funcionamento do ar condicionado para as 24 horas seguintes. Sendo que este método está sujeito às previsões do preço e da temperatura exterior estas variáveis foram modeladas por um conjunto difuso (*fuzzy set*) [Ying-Yi, *et al.*-2012]. Um outro estudo mostra o escalonamento das cargas da habitação de acordo com as prioridades dinâmicas definidas, de acordo com a disponibilidade de produção das fontes renováveis, e de acordo também com a previsão do preço da energia elétrica. Para este caso foi criado um algoritmo em tempo real para a otimização do consumo da habitação [Xin, *et al.*-2012].

Sendo que os trabalhos científicos desenvolvidos na gestão da climatização têm sido escassos, em [Jo, *et al.*-2013] é apresentado um sistema inteligente para a utilização do aquecimento da casa e escalonamento da utilização do ar condicionado, de acordo com as preferências dos utilizadores e as características dos equipamentos de climatização. Neste modelo foram considerados como parâmetros, a capacidade de calor interno e a dissipação de energia térmica que são relacionadas com os dados históricos. O *software* desenvolvido

é dividido em quatro módulos: Entrada de dados; Estimacão de parâmetros; Escalonamento e Gestão da base de dados. O modelo proposto permite minimizar os custos de energia na utilização dos sistemas de climatização e ao mesmo tempo, minimizar o desconforto para os utilizadores numa casa inteligente [Jo, *et al.*-2013]. Por outro lado, existem métodos de previsão do consumo individual dos equipamentos existentes nas habitações, como o aquecedor de água, a iluminação, o frigorífico e o congelador. De acordo com [Arghira, *et al.*-2012], o objetivo é prever o consumo de determinados equipamentos para o dia seguinte de acordo com os dados históricos guardados em base de dados. Como resultado é proposto um indicador estocástico de acordo com os padrões da energia consumida [Arghira, *et al.*-2012].

2.4.3. Gestão da produção distribuída

Atualmente, os sistemas de gestão da energia de uma habitação não contemplam somente a gestão do consumo mas também a gestão dos sistemas de microgeração. Estes sistemas permitem a descentralização dos recursos de produção de energia elétrica, como as grandes centrais, e tornam o consumidor final como um participante ativo na operação do sistema elétrico, como já foi mencionado anteriormente. Atualmente, a utilização destes sistemas fazem parte da maioria dos planos energéticos dos países desenvolvidos incluindo Portugal. A Tabela 2.3 apresenta a produção de energia elétrica em Portugal focando principalmente na produção através das fontes renováveis entre 1995 e 2011.

Os recursos de produção distribuída, que podem ser, normalmente, incluídos no sistema inteligente de gestão de uma habitação, são sistemas de micro ou pequena escala como o gerador eólico, os painéis fotovoltaicos e a unidade de cogeração (CHP³). Os geradores eólicos e os painéis fotovoltaicos aproveitam os recursos renováveis disponibilizados pela natureza, como o vento e o sol respetivamente, para produzir energia elétrica. Ao contrário, a unidade de cogeração aproveita um recurso seja ele renovável ou fóssil para produzir energia térmica e energia elétrica e pode ser controlável dentro dos seus limites técnicos.

A instalação destes recursos de produção de pequena escala deve obedecer à legislação local e aos requisitos impostos pelos operadores de rede e pelas entidades reguladoras. As questões técnicas são bastante importantes para o bom funcionamento da rede elétrica, onde o fluxo da potência deixou de ser somente no sentido do produtor para o consumidor, sendo atualmente possível ocorrer entre consumidores.

³ *Combined Heat and Power* na designação Anglo-saxónica

Tabela 2.3 – Produção de energia elétrica com recursos renováveis em Portugal (adaptado de [Pordata-2013]).

Ano	Produção de energia elétrica (GWh)							
	Total	A partir de fontes renováveis						
		Total	Hídrica (> 10MW)	Hídrica (< 10MW)	Biomassa	Eólica	Geotérmica	Fotovoltaica
1995	33,264	9,501	7,962	492	988	16	42	1
1996	34,520	15,895	14,207	658	959	21	49	1
1997	34,207	14,301	12,537	638	1,036	38	51	1
1998	38,984	14,224	12,488	566	1,022	89	58	1
1999	43,287	9,071	7,042	589	1,237	122	80	1
2000	43,764	13,518	11,040	675	1,554	168	80	1
2001	46,509	16,338	13,605	770	1,600	256	105	2
2002	46,107	10,449	7,551	706	1,732	362	96	2
2003	46,852	18,306	15,163	891	1,663	496	90	3
2004	45,105	12,847	9,570	577	1,797	816	84	3
2005	46,575	8,941	4,737	381	1,976	1,773	71	3
2006	49,041	1,6483	10,633	834	2,001	2,925	85	5
2007	47,253	1,6851	9,927	522	2,140	4,037	201	24
2008	45,969	1,5419	6,780	516	2,133	5,757	192	41
2009	50,207	1,9316	8,108	901	2,376	7,577	194	160
2010	54,093	2,9566	15,458	1,088	3,427	9,182	197	214
2011	52,459	2,5612	11,253	862	3,849	9,161	210	277

Os geradores eólicos são uma das tecnologias de produção renovável onde se tem verificado maior crescimento. As primeiras instalações ocorreram por volta da década de 80 e a partir daí tem-se verificado um aumento significativo do número de instalações. A implementação desta tecnologia obriga a instalação de sistemas de eletrónica de potência para a ligação entre o gerador eólico e a rede elétrica [Guerrero, *et al.*-2010]. Quando se abordam os geradores eólicos de micro e pequena escala, só recentemente é que se tornou mais popular no meio dos sistemas elétricos, principalmente devido aos apoios fornecidos por diversos governos. Várias estratégias foram lançadas de forma a fomentar a implementação destes tipos de recursos de microprodução distribuída.

Por exemplo, de acordo com a "*British Wind Energy Association*" (BWEA), a potência instalada de micro geradores eólicos até ao ano de 2010 era de 49.97 MW, mais de 65% do que o anterior. Sendo que a Figura 2.14 apresenta o número total de geradores eólicos de pequena escala acumulados entre 2005 e 2011 [BWEA-2011]. Já no caso da "*American Wind Energy Association*" (AWEA), a potência instalada até ao ano de 2010 era de 179 MW o que representou um aumento de 26% do ano anterior. Para este exemplo, a Figura 2.15 apresenta o número total de geradores eólicos de pequena escala acumulados entre 2001 e 2010 [AWEA-2010].

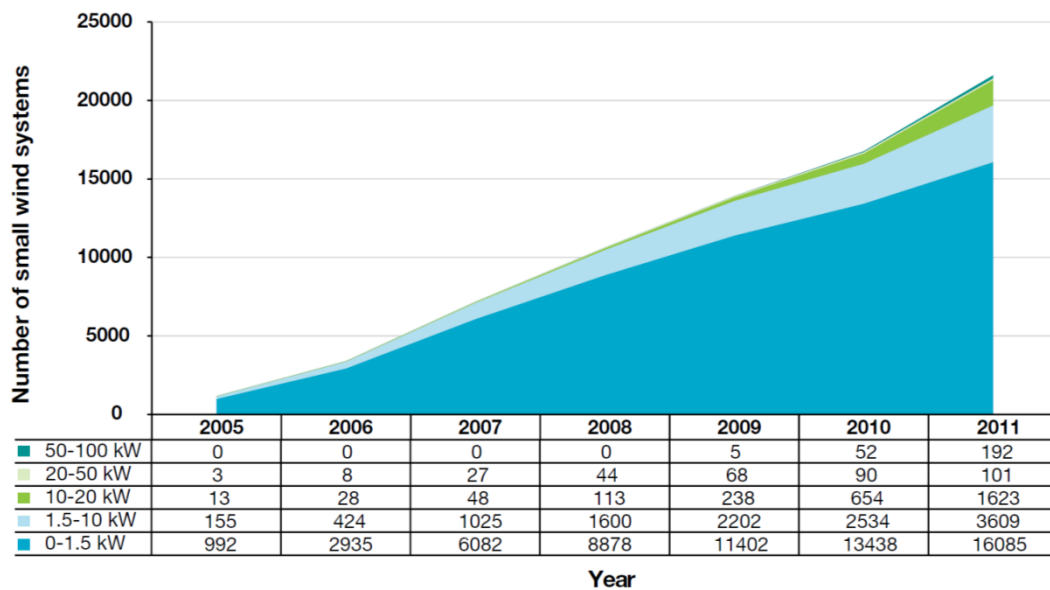


Figura 2.14 – Evolução do número de geradores eólicos de pequena escala instalados entre 2005 e 2011 no Reino Unido [BWEA-2011].

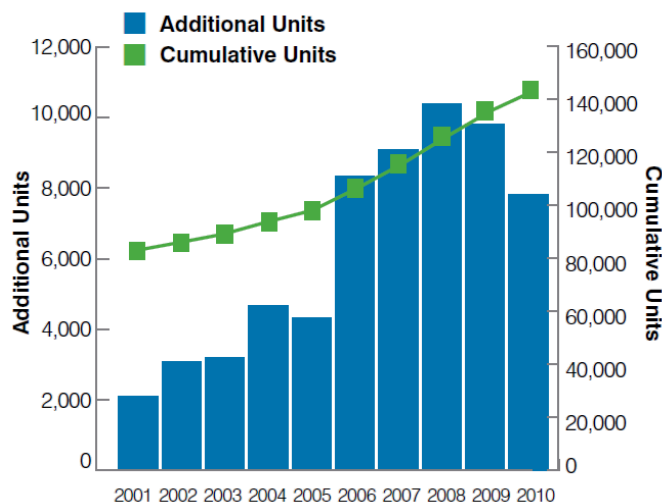


Figura 2.15 – Evolução do número de geradores eólicos de pequena escala instalados entre 2001 e 2010 nos Estados Unidos [AWEA-2010].

Os problemas existentes para a instalação de geradores eólicos de pequena escala nas áreas urbanas remetem essencialmente para as turbulências e ausência de vento necessário para a geração de energia devido à presença de obstáculos e de edifícios altos.

Relativamente à instalação dos sistemas fotovoltaicos, principalmente em pequena dimensão, verificou-se um crescimento acentuado nos últimos anos. Os sistemas fotovoltaicos já são sistemas populares nos telhados dos consumidores domésticos sendo o fator económico uma questão essencial [Thomson, *et al.*-2007]. Um dos relatórios realizados sobre os sistemas fotovoltaicos na Alemanha refere que em Outubro de 2013 a capacidade instalada de tecnologia fotovoltaica era de 35,65 GW. Em 2013, os sistemas

fotovoltaicos foram responsáveis para produção de 29,7 TWh contribuindo com 5,3% do total de consumo da Alemanha que foi de 560 TWh [Burger-2014].

Com a instalação de unidades de microprodução fotovoltaica nos consumidores domésticos, um dos objetivos é usar diretamente a energia produzida para as necessidades do consumidor, sendo que por vezes não é possível consumir diretamente a energia produzida. Neste caso existem duas soluções, uma será colocar a energia diretamente na rede e a outra será armazenar a energia em baterias para depois, em momentos de maior procura, consumir a energia armazenada. Por exemplo, em [Maity, *et al.*-2010] é proposto um modelo de simulação incluindo consumidores domésticos ligados à rede em que cada um tem instalado painéis fotovoltaicos para a produção de energia elétrica. Para este trabalho, quando um painel fotovoltaico de uma das habitações está a produzir, o consumidor doméstico tem a possibilidade de escolher se quer armazenar a energia elétrica produzida nas baterias ou se quer enviar diretamente para a rede elétrica.

Relativamente às unidades de CHP, segundo [Roossien, *et al.*-2008], havia a expectativa de ocorrer uma elevada penetração destas unidades na região norte da Europa. No entanto a utilização de unidades de microcogeração está aquém das expectativas. Este tipo de produção de energia elétrica e térmica é muito flexível, pois podem aproveitar as infraestruturas de gás já existentes nas habitações para alimentar as unidades de CHP. Em [Roossien, *et al.*-2008] foi realizado um teste com 5 unidades de CHP tendo-se concluído que estas unidades de produção não provocam problemas de instabilidade na rede. Uma das principais características deste tipo de produção de energia é a rápida resposta que a unidade dá a cada necessidade excepcional de consumo de energia elétrica. Por exemplo, em casos onde a variação do consumo é inesperada, as unidades de CHP conseguem em pouco tempo satisfazer as necessidades da procura de energia [Caldon, *et al.*-2004; Dielmann, *et al.*-2003]. Como exemplo, em 2006 no Reino Unido já existiam 1000 micro unidades de CHP com uma capacidade de produção de energia elétrica perto dos 7,000 kW [BERR-2008].

Estes tipos de sistemas de produção de energia são considerados como sistemas que permitem uma utilização eficiente da energia. Em [Dentice d'Accadia, *et al.*-2003] é estudada a utilização dos sistemas CHP em pequena escala para fornecer energia às cargas utilizadas nos consumidores domésticos. Para isso foram analisadas algumas cargas residenciais com destaque principal para o sistema de aquecimento de água, a máquina de lavar roupa e a máquina de lavar loiça, sendo que estas cargas têm um impacto elevado no consumo de energia elétrica total do consumidor doméstico. A Figura 2.16 apresenta o esquema utilizado para o teste da instalação de uma unidade de CHP.

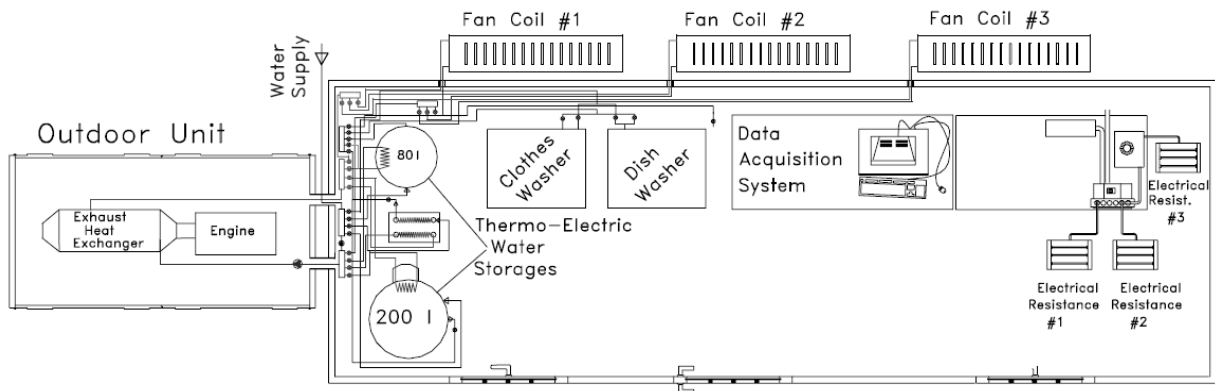


Figura 2.16 – Esquema para teste da instalação de uma unidade CHP [Dentice d’Accadia, et al.-2003].

Por outro lado, [Hawkes, et al.-2007] faz um estudo das vantagens dos sistemas CHP instalados nos consumidores domésticos a nível económico e ambiental e compara três tipos de tecnologias de utilização dos sistemas CHP. Uma das características verificadas é a diferença que existe nos custos de operação se forem de dias de verão ou dias de inverno, sendo que os dias de verão obrigam a mais restrições relacionadas com a potência térmica, onde, por exemplo, as necessidades térmicas no verão são menores.

2.4.4. Gestão dos veículos elétricos

Os veículos elétricos e principalmente os veículos híbridos *Plug-in* são já tecnologias maduras e fazem parte das ofertas comerciais de várias marcas automóveis. Do ponto de vista da gestão energética nas habitações, estas deverão considerar a carga e a descarga dos veículos elétricos ligados à instalação do consumidor. Os veículos elétricos podem ser vistos então como unidades de armazenamento com capacidade para armazenar energia quando existe excesso de produção ou quando os preços da energia são elevados [Saber, et al.-2012; Sousa, et al.-2012]. Os diferentes perfis de utilização dos veículos elétricos, que dependem das necessidades dos consumidores, podem originar alterações no diagrama diário do consumo caso a sua penetração seja elevada [Clement-Nyns, et al.-2010; Sikai, et al.-2010]. A Figura 2.17 apresenta um diagrama de estado da bateria de um veículo elétrico ao longo de 48 horas. Para este caso, só está considerado no perfil da bateria o estado de carregamento.

A gestão dos veículos elétricos quando ligados à habitação é abordada por diversos autores com o objetivo de analisar o efeito da carga do veículo no consumo total da habitação, tendo em consideração o momento em que o veículo sai de casa, o momento em que volta a casa e a distância percorrida durante os dois momentos anteriores. Sendo que as variáveis neste caso são estocásticas, é proposto em [Lojowska, et al.-2012] uma ferramenta que utiliza uma função de *Copula*. Em [Wi, et al.-2013] é apresentado um método para um carregamento inteligente de veículos elétricos de acordo com a produção

de um sistema fotovoltaico, com o consumo total da energia elétrica e com as preferências do utilizador.

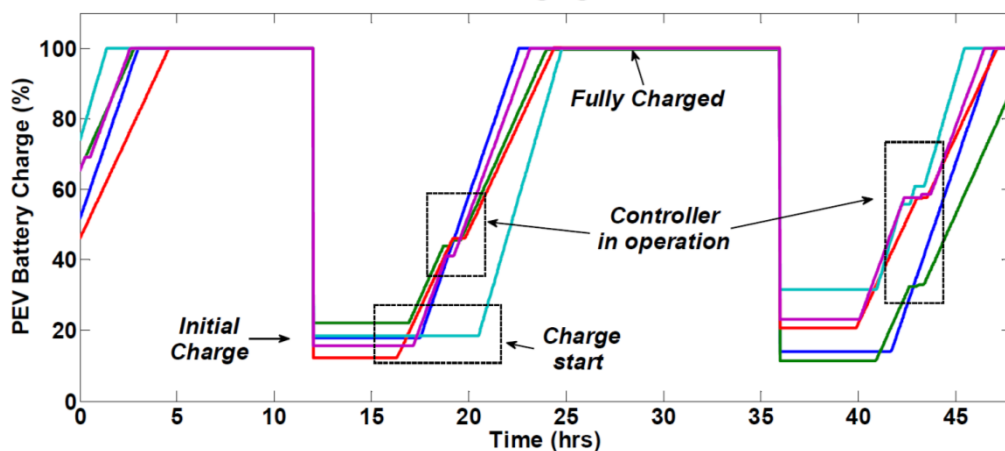


Figura 2.17 – Diagrama exemplo do estado da bateria de um veículo elétrico [Wishart, *et al.*-2011].

2.4.5. Gestão de programas de *Demand Response*

A participação dos consumidores domésticos em programas de DR é outra das características que uma *Smart Home* deverá disponibilizar. Os sistemas de gestão da habitação têm um papel fulcral para uma boa gestão dos consumos durante este tipo de eventos de forma automática e “inteligente”. O controlo de cargas pode ser realizado de acordo com ordens externas (em programas do tipo *Direct Load Control Demand Response*) provenientes do operador de sistema ou de agregadores, com as preferências dos utilizadores ou através de prioridades pré-estabelecidas [Kuzlu, *et al.*-2012]. A interação com programas de *Demand Response* surge com a necessidade de se criarem redes inteligentes com maior grau de flexibilidade na sua gestão. Uma das arquiteturas propostas para uma casa inteligente é definida em camadas, com interfaces de comunicação entre a casa e a rede elétrica. O controlo das cargas pode ser realizado através de estratégias de escalonamento em sistemas de computação em tempo real. Em [Costanzo, *et al.*-2012] é proposta a utilização da programação inteira mista para a minimização dos custos de operação de acordo com as restrições dos equipamentos existentes na casa inteligente. Neste caso, é o gestor dos programas de *Demand Response* que fica responsável pela interação entre a casa inteligente e a rede [Costanzo, *et al.*-2012]. Já em [Pipattanasomporn, *et al.*-2012] é proposto a atribuição de prioridades a cada carga de forma a limitar a potência total consumida na habitação.

Num patamar mais elevado, os sistemas de gestão poderão dar uma resposta a qualquer programa de *Demand Response* de forma automática. Sempre que ocorrem picos de consumo na rede, os sistemas inteligentes das casas podem ter um papel importante para reduzir estes picos, sendo que para isso a utilização de algoritmos automáticos é a forma mais expedita e adequada para lidar com estas solicitações. Em [Chen, *et al.*-2013] é

demonstrado que é necessário uma elevada coordenação entre os vários equipamentos de uma casa inteligente, através de um acesso comum e uma programação específica para manter o consumo de energia a um nível pretendido. Neste trabalho é proposto um algoritmo de gestão que permite ao sistema definir o consumo de todas as cargas para cada intervalo de tempo de acordo com o preço de energia e a produção distribuída da energia eólica local. Segundo este autor, o sistema desenvolvido pode ser aplicado a programas de *Demand Response* como o *smart pricing-based* e o *Direct Load Control (DLC)-based* [Chen, et al.-2013].

A Figura 2.18 apresenta um sistema onde é possível controlar algumas cargas de uma casa inteligente a partir de um *Energy Management Controller (EMC)* considerando programas de DR. Deste modo é possível desligar as cargas definidas de *Direct Load Control (DLC)* na casa inteligente.

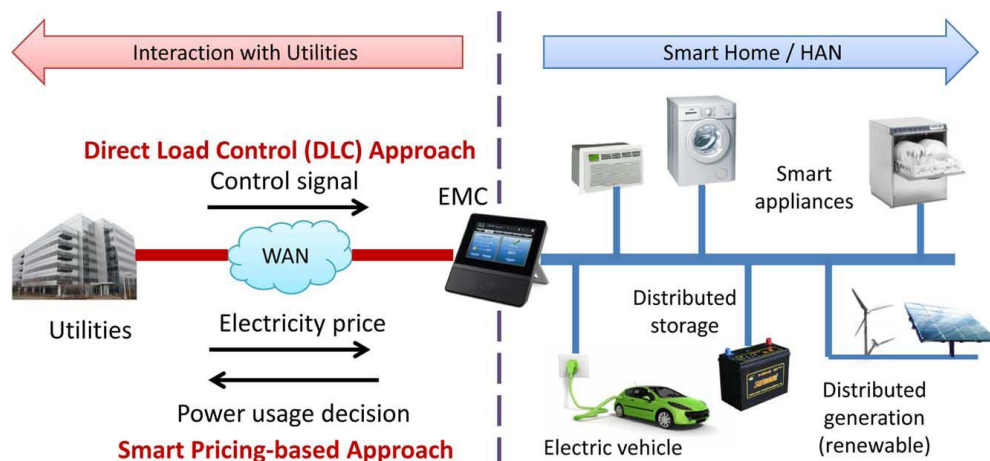


Figura 2.18 – Sistema de gestão inteligente de uma casa com comunicação com a rede [Chen, et al.-2013].

Segundo [Ozturk, et al.-2013], para além dos programas referidos anteriormente, os programas de *Demand Response* podem estar disponíveis através da utilização dos programas do tipo *Time-of-Use (TOU)* como forma de incentivar os consumidores a reduzir o consumo de energia em resposta aos preços elevados de energia elétrica. Para isso foi desenvolvido um sistema para prever e planear o consumo de energia elétrica a nível local, isto é, em casas inteligentes.

Por um lado foi criado um sistema de apoio à decisão para efetuar a previsão do consumo da energia elétrica e por outro lado, segundo os preços de energia e as restrições do utilizador, o sistema promove o escalonamento ótimo para as cargas no consumo total da casa. Posteriormente, o sistema inteligente da casa comunica com as respetivas cargas os valores de consumo de cada uma através de um sistema de comunicação integrado [Ozturk, et al.-2013]. É utilizado um agregador para estimar o consumo total de um conjunto de casas dentro de uma determinada região. A Figura 2.19 apresenta as diversas comunicações existente num sistema de gestão inteligente da energia da casa desenvolvido

por [Ozturk, *et al.*-2013]. Deste modo, os programas de *Demand Response* podem ser um importante recurso de energia para o futuro dos sistemas elétricos de energia. Os grandes consumidores (a indústria e o comércio grande) são o principal foco dos programas de DR já existentes e a serem utilizados. Contudo, os pequenos consumidores, incluindo os domésticos, podem dar uma resposta mais flexível nestes eventos [Faria, *et al.*-2011].

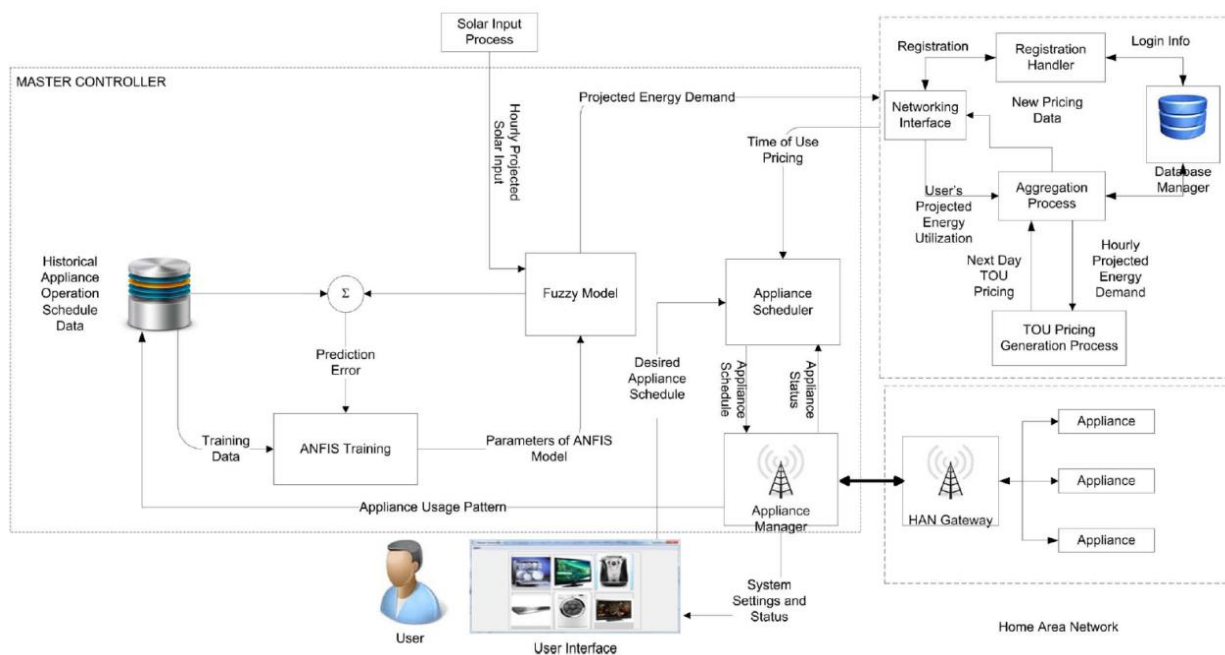


Figura 2.19 – Comunicações existentes num sistema de gestão inteligente da energia de uma casa [Ozturk, *et al.*-2013].

2.5. Conclusões

Os consumidores finais podem desempenhar um papel fulcral nos sistemas elétricos do futuro. Todos os desenvolvimentos no âmbito das *Smart Grids*, que se perspectiva vir a ser um grande desenvolvimento nos sistemas elétricos, sugerem uma participação ativa dos consumidores finais na gestão dos sistemas elétricos. No futuro, os consumidores deverão ter a capacidade de gerir o seu consumo assim como a sua produção, permitindo entre várias situações, fornecer pequenas quantidades de energia elétrica para a rede. Este comportamento representa uma nova forma de estar dos consumidores finais que, tradicionalmente, se limitavam a consumir energia mediante o pagamento de uma fatura energética que variava apenas em função da energia consumida.

Outro conceito que tem sido proposto e desenvolvido de forma consistente são as *Microgrids*. As *Microgrids* estão, normalmente sujeitas a significativos desequilíbrios devido à presença de cargas monofásicas, de unidades de produção distribuída e de armazenamento de energia que podem desempenhar um papel importante no controlo e operação. A utilização de *Smart Meters* é já uma realidade em alguns países podendo ser considerado como um passo importante para a criação de *Smart Grids* uma vez que

permitem a monitorização dos consumos elétricos em tempo real e a comunicação bidirecional entre o sistema de gestão de uma habitação e as entidades que operam a rede elétrica.

Os sistemas de gestão dos consumidores finais têm sofrido grandes desenvolvimentos permitindo a integração de diversos equipamentos como as cargas, as unidades de produção distribuída ou os veículos elétricos. Em particular, os sistemas de gestão de energia de um consumidor doméstico devem englobar a capacidade para gerir o consumo e a produção da energia elétrica dos equipamentos ligados na habitação. Para aumentar a eficiência e eficácia dos sistemas de gestão devem ser desenvolvidas várias metodologias capazes de otimizar a utilização dos diferentes equipamentos, incluindo a capacidade para participar em eventos de *Demand Response*. Estas metodologias devem ser também capazes de se adaptar aos vários contextos a que um consumidor doméstico está sujeito.

Um sistema de gestão de um consumidor doméstico deve ser dotado de comunicações entre os vários intervenientes permitindo a perceção em tempo real, por parte do consumidor e também do gestor da rede, do consumo/produção de energia elétrica na habitação. Esta capacidade permite ao utilizador ser mais eficiente na utilização da energia elétrica visto que o sistema é capaz de informar todos os dados envolvidos na gestão e, de forma inteligente, optar pelas melhores soluções na gestão da energia elétrica. Um dos principais fatores de um sistema de gestão deste tipo é a capacidade de perceber o comportamento na utilização da energia elétrica por parte de todos os utilizadores de uma habitação adaptando o seu funcionamento em função dos hábitos quotidianos dos seus utilizadores.

Capítulo 3

SCADA House Intelligent Management – Desenvolvimento e Implementação

3. SCADA House Intelligent Management – Desenvolvimento e Implementação

3.1. Introdução

Nesta dissertação é proposto o desenvolvimento de um sistema de gestão de recursos energéticos existentes em instalações domésticas designado por *SCADA House Intelligent Management* (SHIM). O SHIM é uma plataforma desenvolvida para operar como um sistema de gestão de uma habitação integrando funções avançadas, permitindo o controlo de diversos tipos de cargas como os equipamentos e eletrodomésticos, habitualmente existentes numa habitação. O SHIM permite ainda o controlo de unidades de microprodução, incluindo painéis fotovoltaicos, geradores eólicos e cogeração. Adicionalmente, o sistema permite o controlo de unidades de armazenamento, sendo nesta categoria incluídos os veículos elétricos.

De forma a incrementar as potencialidades de simulação do sistema foram integrados modelos de simulação de cargas reais. Desta forma é possível gerir cargas reais e virtuais (simuladas) em simultâneo. Este aspeto é particularmente interessante visto que o Sistema SHIM está integrado na plataforma de simulação de *Smart Grids* baseada num sistema multiagente designado por *MASGriP – Multi-Agent Smart Grid Simulation Platform* [Oliveira, et al.-2012]. O MASGriP é uma plataforma que permite a simulação das interações de diversos agentes intervenientes nos sistemas de energia, nomeadamente operadores de sistema, entidades agregadoras, assim como diversos tipos de consumidores e produtores. A interação dos consumidores domésticos com o MASGriP é efetuado através do Sistema SHIM, pelo que o MASGriP interage com diversos sistemas SHIM em simultâneo. O mesmo é dizer que cada SHIM representa um agente no MASGriP com capacidade de gerir cargas reais e virtuais.

A integração do Sistema SHIM no MASGriP permite a simulação de tarefas mais complexas como os eventos de *Demand Response* (DR) promovidos pelos operadores do sistema elétrico ou pelos agregadores implementados no MASGriP, como os *Virtual Power Players* (VPP) ou os *Curtailment Service Provider* (CSP). Atualmente, diversos tipos de programas de DR têm sido propostos por vários operadores de sistema de forma a dar uma resposta eficaz às diferentes necessidades dos sistemas elétricos de energia [Association of Australia-2012; Walawalkar, et al.-2010]. O corte de carga nos programas de DR pode variar entre os 15 minutos e 5 horas, podendo ultrapassar as 5 horas em situações críticas de operação e controlo nos sistemas elétricos de energia [Samadi, et al.-2013].

A gestão de recursos energéticos deve ser implementada considerando a existência de diferentes recursos nas instalações domésticas, assim como o perfil de utilização de cada consumidor, nomeadamente na participação em diferentes eventos de *Demand Response*,

na definição de limites de consumo energético ou na adoção de diferentes objetivos de gestão (mínimo custo, mínimo consumo, mínimo consumo energético da rede, etc.). Por outro lado, a gestão pode ser diretamente afetada por padrões de consumo dos utilizadores e pelo contexto do dia, o que depende de vários fatores, tais como a estação do ano, a temperatura, o dia da semana, a meteorologia e o preço da eletricidade.

Uma descrição resumida das características principais dos modelos propostos no Sistema SHIM são apresentadas na Tabela 3.1. Nesta tabela, a primeira coluna apresenta as principais características para cada modelo, sendo que as restantes colunas são referentes à forma como são abordadas as características de cada um dos modelos.

Tabela 3.1 – Caraterização dos modelos de gestão da energia.

Caraterísticas	Modelo do SHIM				
	Gestão de Cargas	Gestão de Cargas e Veículos Elétricos	Gestão de Cargas, Veículos Elétricos e de Produção Distribuída	Controlo de Cargas Dinâmico	Análise da Eficiência Energética
Gestão da energia	Consumo	Consumo e veículos elétricos	Consumo, veículos elétricos e produção	Consumo	Consumo
Objetivo da gestão	Minimizar o impacto da redução do consumo no conforto dos utilizadores	Minimizar o impacto da redução do consumo no conforto dos utilizadores	Minimizar o impacto da redução do consumo no conforto dos utilizadores	Minimizar o impacto da redução do consumo no conforto dos utilizadores	Análise da eficiência de energia consumida (de acordo com a função objetivo aplicada)
Limites impostos	Consumo	Consumo	Consumo	Consumo	Consumo
Valor da prioridade	Definido pelo utilizador	Definido pelo utilizador	Definido pelo utilizador	Dinâmico - Definido pelo utilizador e pelas características das cargas	Definido pelo utilizador
Preço de energia considerado	Não	Não	Não	Não	Para identificação dos benefícios económicos
Restrições de tempo	Não	Não	Não	Indicação dos tempos de funcionamento das cargas	Não

Os 3 primeiros modelos descritos na Tabela 3.1 (3 primeiras colunas) são similares. A principal diferença são os recursos considerados nas diferentes otimizações, nomeadamente as cargas, a produção distribuída e os veículos elétricos. O objetivo principal dos algoritmos desenvolvidos é minimizar o impacto no conforto dos utilizadores da habitação considerando diferentes limites de consumo.

O modelo 4 é designado por modelo dinâmico. Este modelo visa uma gestão eficaz dos recursos existentes numa habitação considerando a participação em eventos de *Demand Response* de longa duração. Neste sentido, a importância dos recursos varia de

acordo com as especificações dos utilizadores mas também com as características técnicas dos equipamentos. Os limites de consumo estabelecidos no sistema são definidos pelo utilizador ou pelo gestor da rede elétrica. No que diz respeito à otimização das cargas, esta é realizada de acordo com as prioridades definidas dinamicamente ao longo do evento de acordo com o utilizador e com as características intrínsecas de cada carga. Uma característica importante deste modelo é a consideração de restrições de tempo através da especificação dos tempos de funcionamento das cargas, de modo a garantir o bom funcionamento das mesmas, bem como o conforto do utilizador.

Por fim, o modelo de análise de eficiência do consumo de energia consiste numa análise da energia consumida considerando diferentes eventos de limite de potência que condicionam o consumo de energia. Estes eventos podem ser determinados por ordem do utilizador ou do gestor da rede elétrica (através de contratos ou eventos de DR), utilizando o modelo usado para a gestão das cargas. O principal objetivo deste modelo é determinar os benefícios económicos que a sua implementação num consumidor doméstico pode originar, considerando os preços de energia atualmente estabelecidos em Portugal.

O evento para a gestão da energia do consumidor doméstico pode ser influenciado por dois tipos de fatores, nomeadamente:

- Fatores internos – variação da produção existente nos consumidores (disponibilidade de produção distribuída ou de descarga de energia proveniente de veículos elétricos);
- Fatores externos – variação do preço da energia em tempo real. O operador de sistema (ou o agregador) pode alterar o preço da energia em tempo real, esperando uma alteração do perfil de consumo.

Um evento de DR pode ser indicado pelo operador do sistema ou por entidades agregadoras. Os fatores que determinam a utilização de eventos de DR podem ser de três tipos [Fernandes, *et al.*-2011]:

- Económico – no caso de preços elevados do mercado de energia elétrica;
- Segurança – nos casos de problemas de fiabilidade e de contingência como por exemplo a redução de produção disponível, a violação de perfis de tensão, o congestionamento das linhas e os diversos tipos de interrupções no fornecimento de energia elétrica;
- Operacional - Conceção de programas de DR para reduzir o consumo em períodos de pico.

Este capítulo está organizado em seis subcapítulos sendo que o primeiro apresenta as informações do Sistema SHIM e os restantes subcapítulos apresentam os modelos desenvolvidos para o sistema de gestão: modelo para a gestão das cargas, modelo para a gestão das cargas e dos veículos elétricos, modelo para a gestão das cargas dos veículos

elétricos e da produção distribuída, modelo dinâmico para o controlo das cargas e, modelo para a análise da eficiência do consumo de energia.

3.2. Sistema SCADA House Intelligent Management

O Sistema SHIM permite aos consumidores domésticos melhorar a eficiência, segurança e conforto de utilização da habitação através do controlo de todos os recursos energéticos disponíveis na mesma. O sistema de gestão de energia pode ser integrado em vários dispositivos, como um *smart phone* ou *tablet* permitindo controlar e monitorizar a instalação. Ao mesmo tempo, o SHIM integra vários métodos de otimização de apoio à decisão e gestão de energia do consumidor, o que permite reduzir o consumo total de energia informando o consumidor em tempo real. A Figura 3.1 apresenta a estrutura do Sistema SHIM que permite integrar na mesma plataforma todos os recursos energéticos controláveis para melhorar a eficiência, segurança e conforto de uma *Smart Home*.

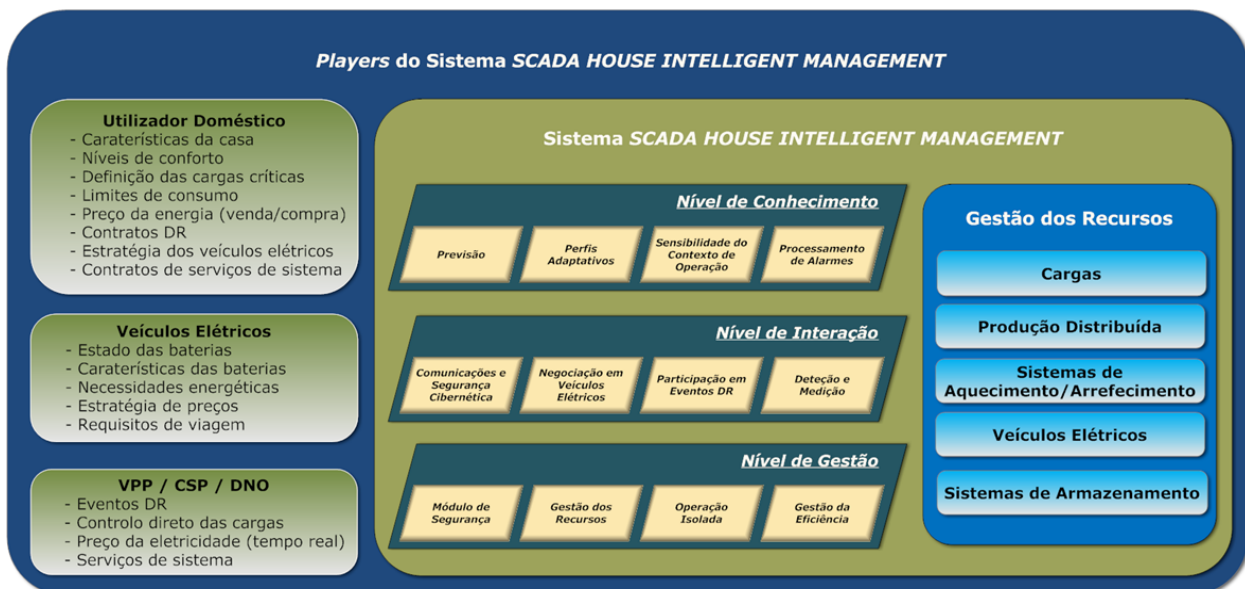


Figura 3.1 – Estrutura do Sistema SHIM para participação nos processos de gestão de *Smart Grid* (adaptado de [Morais, et al.-2012]).

O sistema de gestão de energia é composto por vários equipamentos, incluindo um controlador lógico programável, atuadores, equipamentos de medição e análise, e dispositivos de interface. O sistema permite a aquisição de diversos tipos de dados, como por exemplo a energia e potência total consumida pela habitação, a energia e a potência consumida por cada carga, a energia e potencia consumida/gerada por cada veículo elétrico e a energia gerada por cada unidade de produção, que são indispensáveis para a gestão da instalação do consumidor.

Algumas cargas como o sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado (AVAC) e a iluminação dependem diretamente de fatores externos como a temperatura (externa e interna) e da luminosidade do local, respetivamente. Existem outros fatores que

afetam todas as cargas, como por exemplo, o número de pessoas que se encontram na habitação. O SHIM é importante no apoio à decisão de utilização de energia elétrica dos consumidores domésticos, permitindo a gestão eficiente para obter benefícios económicos. Por exemplo, se o sistema de gestão detetar que a iluminação de uma divisão da habitação está ligada e ninguém estava presente nos últimos 10 minutos, o SHIM desliga automaticamente a iluminação. Os níveis de conforto podem ser aplicados para a iluminação e vários outros equipamentos, nomeadamente:

- Iluminação: controlo da luminosidade da divisão/instalação;
- AVAC: controlo da temperatura da divisão/instalação;
- Aquecedor de água: controlo da temperatura da água;

No caso dos veículos elétricos, a sua gestão depende do perfil de utilização (caraterísticas das viagens que o utilizar precisa em cada dia, do nível da bateria que o utilizador pretende para determinado momento, entre outros fatores/critérios). Por exemplo, no início da manhã o utilizador pode definir que o estado na bateria do veículo seja superior a 90 % da capacidade máxima, pois vai necessitar desse nível de energia para se deslocar.

No caso da produção distribuída, a produção fotovoltaica vai depender, principalmente, da radiação solar disponível, que só acontece durante o dia. A produção eólica depende da velocidade do vento disponível, enquanto uma unidade de microgeração depende da necessidade térmica do consumidor doméstico em determinado momento do dia. Essa necessidade térmica vai determinar a disponibilidade de energia elétrica através da unidade de microgeração.

3.2.1. Metodologia implementada no SHIM

A metodologia de gestão desenvolvida para o Sistema SHIM considera vários fatores de utilização da instalação que influenciam a gestão de energia:

- Tipo de consumidor;
- Níveis de conforto;
- Prioridade dos recursos;
- Contratos de DR;
- Informação de estado de cargas elétricas;
- Informação de estado de veículos elétricos;
- Informação de estado de unidades de produção;
- Condições meteorológicas;
- Hora do dia;
- Características da habitação.

O sistema de gestão desenvolvido inclui um módulo de gestão dos recursos para apoiar a gestão de energia onde está incluído o método de otimização a aplicar. O método de otimização desenvolvido permite adaptar a gestão de energia à variação dos diversos fatores de utilização da instalação. Os resultados da otimização consideram, geralmente, o limite de consumo, conforme determinado pelo consumidor ou pelo operador da rede através de programas de DR. O consumidor define um limite de consumo, com o objetivo de reduzir o consumo energético e principalmente reduzir a fatura energética. Se um evento for declarado pelo operador da rede este acontece, por exemplo, quando há necessidade de reduzir a procura de energia.

Os fatores de gestão do SHIM são importantes para o contexto do consumo doméstico e conseqüentemente, para o processo do modelo matemático proposto para o Sistema SHIM. Por exemplo, se o limite de potência é menor do que o consumo total, o SHIM executa o método de otimização para reduzir o consumo de energia necessária de modo a atingir o limite de potência. O Sistema SHIM é composto por diferentes módulos, cada um com diferentes funções e incorporando diferentes algoritmos. No capítulo 3.2.2 é efetuada uma descrição detalhada de cada um dos módulos.

3.2.2. Estrutura do SHIM

A plataforma do SHIM é composta por diferentes módulos e cada módulo é composto por diferentes algoritmos que são utilizados em diversos contextos de operação e controlo, como apresentado na arquitetura da Figura 3.2. Os módulos estão agrupados em três partes denominadas de Aquisição de Dados, Atuadores e Aplicações Inteligentes:

- Aquisição de Dados – contempla quatro módulos denominados de sensores, interface do utilizador, interface externa e funções internas. O módulo dos sensores agrega todo o tipo de sensores, equipamentos de medida e equipamentos de comando. O módulo de interface do utilizador permite a comunicação com as mais diversas plataformas utilizando o protocolo *TCP/IP Modbus* como meio de comunicação. A interface externa permite o acesso remoto do utilizador ao sistema, bem como a interação com entidades prestadoras de serviços (essa interação é simulada através da plataforma MASGrIP). Além disso, este módulo suporta também a geração de eventos de DR no sistema. O módulo de funções internas integra várias funções do SHIM, como a sincronização do tempo e a avaliação e negociação dos eventos de DR. Por fim, existe uma base de dados que permite armazenar toda a informação proveniente de todos os outros módulos.
- O módulo de Atuadores integra todo o tipo de interfaces com o *hardware*, como os atuadores digitais, atuadores analógicos, inversores, variadores de

frequência (para acionar motores), entre outros. Este módulo também inclui a gestão da rede interna considerando os diferentes protocolos utilizados.

- As Aplicações inteligentes integram todas as funções avançadas do SHIM denominadas de identificação de contextos, definição de prioridades, algoritmos de aprendizagem, identificação de perfis dos utilizadores e gestão dos recursos energéticos. Os módulos necessitam da informação sobre as características de funcionamento dos equipamentos e o estado atual de cada dispositivo. Assim, o "disparo de evento" permite a deteção de novos eventos para processar todos os algoritmos. Se o evento foi ordenado pelo utilizador, o acionador do evento envia a ordem diretamente para os atuadores e, num segundo passo, envia a ordem para ser processada pelos outros módulos. Por outro lado, se o evento for, por exemplo, uma ordem de DR, o sistema não precisa executar nenhuma ordem antes do processamento da informação. Com este mecanismo, o Sistema SHIM evita atrasos entre ordens e ações.

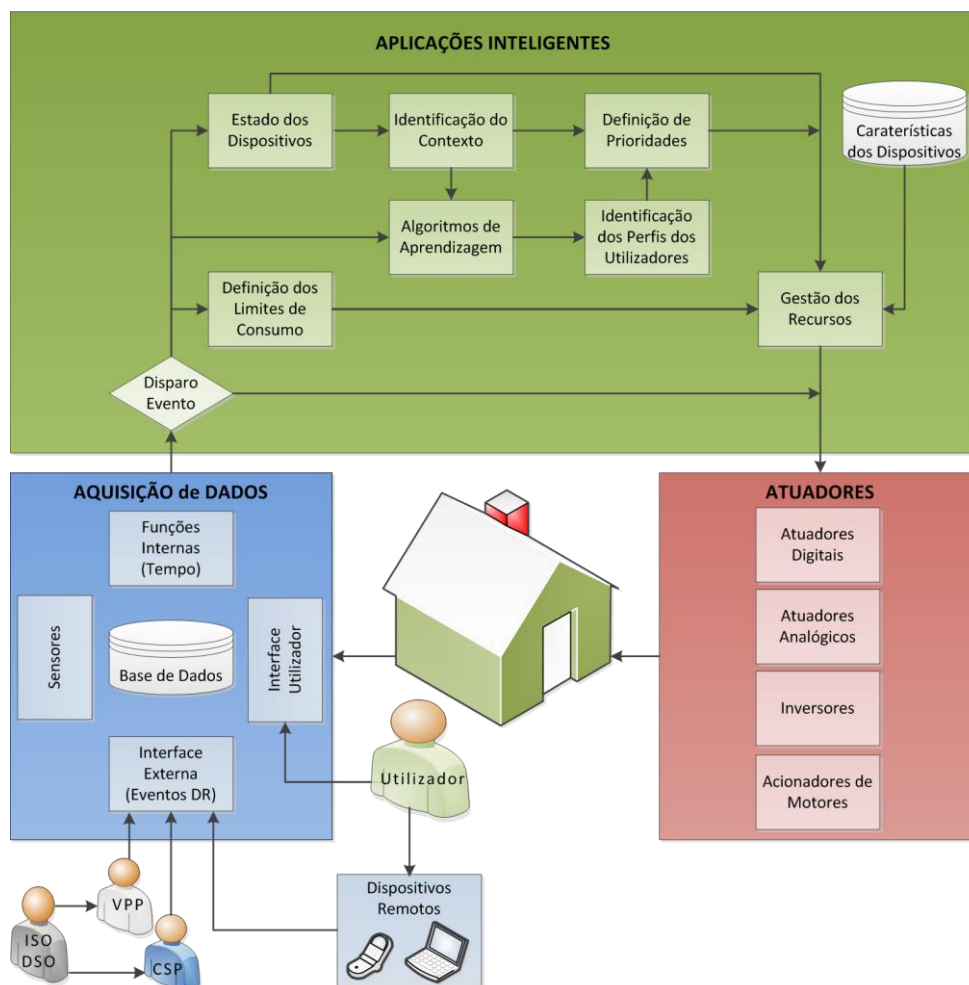


Figura 3.2 – Estrutura do modelo de gestão inteligente de energia no Sistema SHIM.

3.2.3. Hardware do SHIM

O Sistema SHIM é parte de um protótipo de teste, sendo este constituído por equipamentos específicos para efetuar as tarefas de operação e controlo de todo o sistema. Sendo que a estrutura de comunicação do SHIM é apresentada na Figura 3.3. Apesar de complexa, a implementação do SHIM fornece as vantagens necessárias na gestão dos recursos energéticos permitindo a integração de todas as características dos equipamentos e o cumprimento de vários objetivos de gestão do consumidor final como proposto para o SHIM. Assim, as especificações de *hardware* do SHIM dividem-se em três categorias fundamentais:

- Unidade central (Computador Industrial) é responsável pelo processamento de todos os algoritmos implementados;
- Unidade de Terminal Remota (UTR) é constituída por um ou vários autómatos programáveis e pelos diversos tipos de atuadores;
- Sensores e equipamentos de medição para o envio dos dados ao UTR.

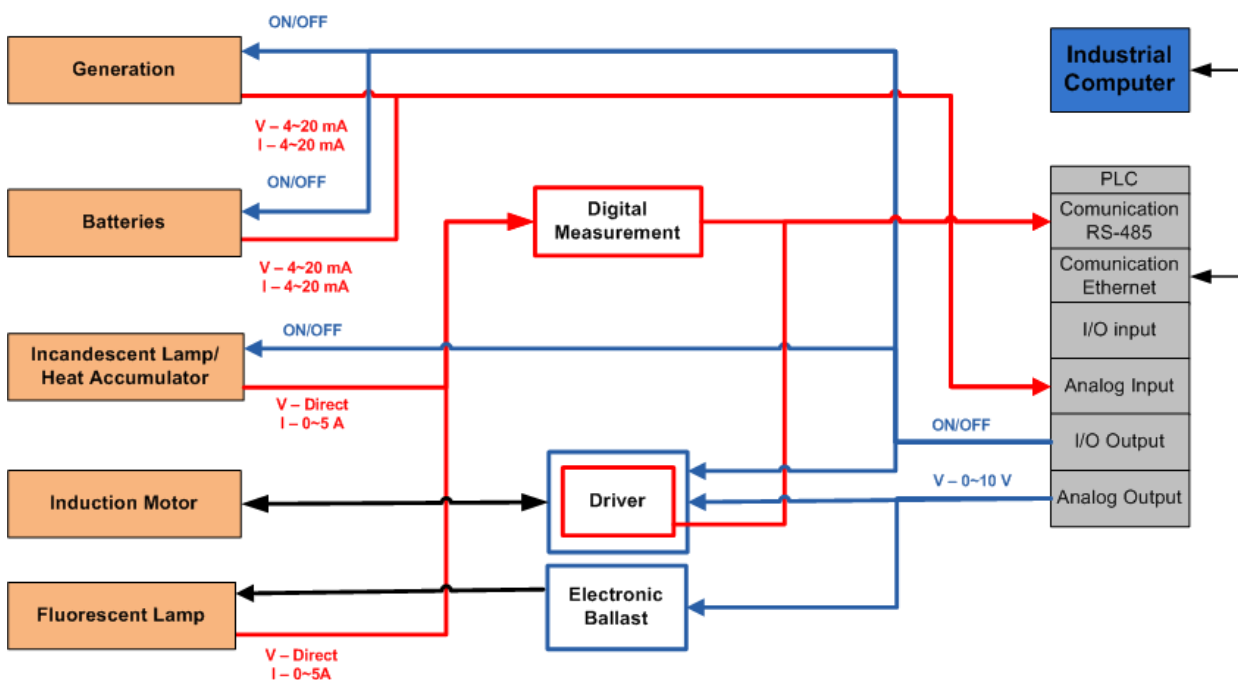


Figura 3.3 – Estrutura de comunicação entre *hardware* no Sistema SHIM.

Os aparelhos de medição permitem a leitura de vários elementos e variáveis necessárias para um controlo adequado do sistema. Assim, o SHIM torna-se mais completo permitindo obter as seguintes funções:

- Leitura de dados de aparelhos de medição;
- Registo de dados de aparelhos de medição;
- Organização dos dados recolhidos em folha de Excel;
- Comando de equipamentos (ON/OFF) do tipo contactores/relés;
- Controlo da velocidade de motores elétricos;

- Envio de alertas relativamente aos dados medidos;
- Tomada de ações automáticas relativamente a dados medidos;
- Possibilita a leitura e registo de grandezas como tensão, corrente, potência aparente, potência ativa e potência reativa;
- Possibilita o comando de variadores de velocidade (motor elétrico), lâmpadas fluorescentes e incandescentes, cargas resistivas, indutivas e capacitivas.

O SHIM desenvolvido foi aplicado ao controlo e registo de dados das cargas e da geração de energia da produção distribuída existente nos laboratórios do GECAD. O Laboratório de Sistemas Inteligentes de Energia (LASIE), Figura 3.4, é constituído por 3 unidades produção distribuída, um painel fotovoltaico com seguidor, um painel fotovoltaico fixo e um aerogerador.



Figura 3.4 – Unidades de produção distribuída consideradas no Sistema SHIM.

Outra vertente, Figura 3.5, é o controlo de variadas cargas, entre os quais os motores de indução, as lâmpadas de halogéneo e florescentes, bem como diversos equipamentos reais ou simulados. Este sistema SCADA é composto por uma única unidade central representada na Figura 3.3, por um UTR (autómatos programáveis), por aparelhos de medição como analisadores de energia, por relés que representam os atuadores, por variadores de velocidade para o controlo dos motores e por balastos eletrónicos com regulação de fluxo luminoso para o controlo das lâmpadas fluorescentes.

O *hardware* do Sistema SHIM está interligado pelo protocolo de comunicação *Modbus*. A comunicação proveniente entre a unidade central e o autómato programável é realizada por *Ethernet (Modbus TCP/IP)* e a comunicação entre o autómato programável e os dispositivos de medição é realizada através do barramento RS-485 (*Modbus RTU/ASCII*). De seguida é apresentado a descrição do *hardware* existente no Sistema SHIM:

- Computador industrial – utilizado para o *software* da interface de modo a ser possível a supervisão e a monitorização do sistema;
- Autómato programável – fundamental para receber a informação de todos os outros equipamentos e enviar as ordens aos atuadores do sistema;
- Equipamentos de medição – analisadores de energia utilizados na leitura de potência ativa/reactiva/aparente, a tensão, a corrente, entre outros;
- Variadores de velocidade/frequência – controlo e medição dos parâmetros dos motores de indução.

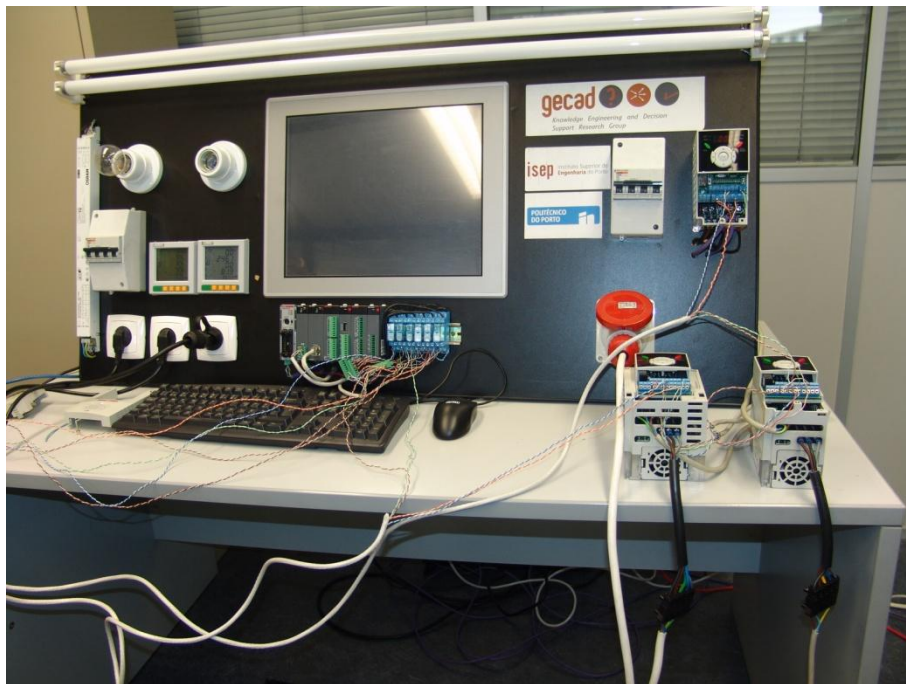


Figura 3.5 – Unidades de controlo de cargas consideradas no Sistema SHIM.

3.2.4. Interface do SHIM

O Sistema SHIM possui uma interface que permite o acesso do utilizador ao controlo e monitorização dos vários recursos energéticos existentes na habitação. A interface do sistema considera 6 menus principais permitindo o controlo de diferentes aspetos e recursos da instalação. Os menus são designados por: Produção distribuída, Cargas, Veículos elétricos, Segurança, Estado do sistema e Configuração do sistema. Esta interface pode ser aplicada, como já referido anteriormente, em diferentes plataformas por exemplo, nos painéis táteis, em dispositivos *android* [Gomes, *et al.*-2014] e em computadores remotos (restantes submenus da interface no Anexo B).

Esta interface foi inicialmente desenvolvida no *software* industrial *Movicon11*. O *Movicon11* é uma ferramenta desenvolvida pela empresa *Progea Industrial Automation Software*, cujo objetivo é a construção de estruturas *Human Machine Interface (HMI)* para suportar um sistema SCADA. A Figura 3.6 apresenta o menu principal do Sistema SHIM

onde, para além dos submenus, apresenta as informações gerais do consumidor doméstico, nomeadamente: o dia da semana, a hora, a estação do ano, a temperatura interna e externa, o número de pessoas presentes e em que divisão da habitação estão, a claridade/luminosidade, a existência de evento de *Demand Response* ou *Offset*, o consumo total, a produção total e os veículos elétricos conectados ao consumidor doméstico.



Figura 3.6 – Menu principal da interface do Sistema SHIM.

A Figura 3.7 apresenta o submenu para a produção distribuída onde são considerados as tecnologias do gerador eólico, do painel fotovoltaico e da cogeração. Para cada submenu da produção distribuída são consideradas as informações necessárias e importantes para cada tecnologia.

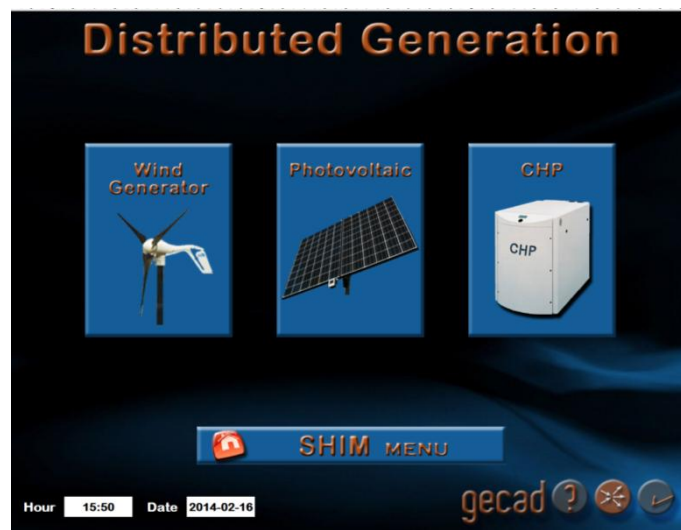


Figura 3.7 – Submenu da interface do Sistema SHIM para a produção distribuída.

Para o gerador eólico é considerada a potência instantânea, a velocidade do vento, a direção do vento, a energia total produzida e as informações do dia (hora e data). O gerador eólico representa a produção eólica existente no LASIE. Para o painel fotovoltaico é

considerada a potência instantânea, a radiação solar, a temperatura interna e externa do painel, a energia total produzida e as informações do dia (hora e data). O painel fotovoltaico representa a produção de todos os painéis existentes no LASIE. Para a cogeração é considerada a potência elétrica instantânea, a potência térmica instantânea, a necessidade de potência térmica, a energia total produzida e as informações do dia (hora e data). A cogeração é um modelo virtual e que para já não existe uma unidade física no LASIE.

A Figura 3.8 apresenta o submenu para o controlo das cargas onde são consideradas as cargas em diferentes divisões da casa. Como exemplo, foram consideradas cargas no quarto, na sala de estar, na casa de banho, na cozinha e na zona técnica. Para cada submenu das cargas são consideradas as informações necessárias e importantes para cada divisão dependendo das cargas utilizadas nessa divisão.



Figura 3.8 – Submenu da interface do Sistema SHIM para as cargas.

Como exemplo, o menu “cozinha” (Figura 3.9), apresenta o estado e potência consumida de cada carga, o fluxo da iluminação e as informações do dia (hora e data).



Figura 3.9 – Submenu da interface do Sistema SHIM para a cozinha.

A Figura 3.10 apresenta o submenu para os veículos elétricos onde são considerados dois tipos, a tecnologia “convencional” que só permite a carga da bateria e a tecnologia denominado de *Vehicle-to-grid* (V2G) que permite a carga e a descarga da bateria do veículo elétrico. Cada submenu dos veículos elétricos compreende as informações necessárias e importantes para cada tecnologia considerada para o consumidor doméstico. O submenu do veículo elétrico “convencional” considera o estado se o veículo elétrico está ligado ou desligado, o estado da bateria, a capacidade máxima da bateria, o estado da carga, os requisitos da próxima viagem e as informações do dia (hora e data). O submenu do V2G considera o estado, se o veículo está ligado ou desligado, o estado da bateria, a capacidade máxima da bateria, o estado da carga ou o estado da descarga, os requisitos da próxima viagem e as informações do dia (hora e data).

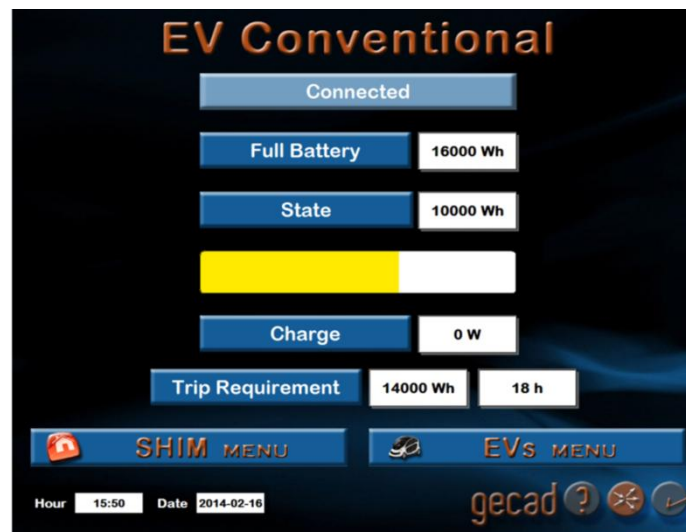


Figura 3.10 – Submenu da interface do Sistema SHIM para os veículos elétricos convencional.

A Figura 3.11 apresenta o submenu para o sistema de segurança do SHIM. Este submenu é muito específico e tem como objetivo limitar o acesso a todas as funcionalidades do Sistema SHIM a qualquer pessoa que esteja presente na instalação ou que tenha acesso ao sistema através de outra plataforma. Nesta implementação foram considerados três tipos de utilizadores, o administrador, o utilizador familiar e o simples utilizador. O administrador tem acesso a todas as funcionalidades do SHIM para além de permitir armar e desarmar alarmes, como por exemplo o alarme de férias ou alarme de noite, tudo tendo em consideração a gestão de todo o sistema. O utilizador familiar para além de permitir armar ou desarmar determinados alarmes, também tem acesso a determinadas configurações, como por exemplo as definições de *SetPoints*, de temperaturas ou da luminosidade nas divisões da habitação. O simples utilizador apenas tem acesso ao controlo de equipamentos como por exemplo o controlo da iluminação.



Figura 3.11 – Submenu da interface do Sistema SHIM para a segurança.

A Figura 3.12 apresenta o submenu para o estado do Sistema SHIM. No estado do sistema é considerado o consumo, a produção e a informação geral do sistema. Para o submenu do consumo é considerado o consumo total do consumidor doméstico, o limite de potência do consumo caso exista, o consumo das cargas, o consumo referente à carga dos veículos elétricos, a energia consumida nas últimas 24 horas, a energia total consumida e as informações do dia (hora e data). No submenu da produção é mostrada informação sobre a produção total, a produção da microprodução, a energia proveniente da descarga dos veículos, a energia produzida nas últimas 24 horas, a energia total produzida e as informações do dia (hora e data). No submenu da informação geral é considerado o preço da venda de energia, o preço da compra de energia, os contratos de DR existentes, as potências consideradas para a otimização ou *offsets* e as informações do dia (hora e data).

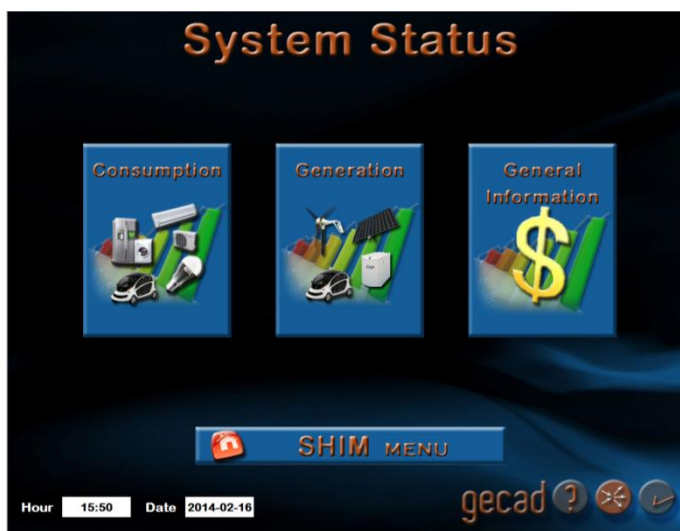


Figura 3.12 – Submenu da interface do Sistema SHIM para o estado do sistema.

A Figura 3.13 apresenta o submenu para a configuração do SHIM. Na configuração do sistema são considerados menus relativos à estratégia de economia e eficiência, aos

níveis de conforto, às características gerais da casa e um submenu específico para a otimização e *offset*. Para o submenu de economia e eficiência é considerada a estratégia para os veículos elétricos, os requisitos necessários para as viagens dos veículos, as estratégias dos preços de energia para as otimizações e offsets, e as informações do dia (hora e data).

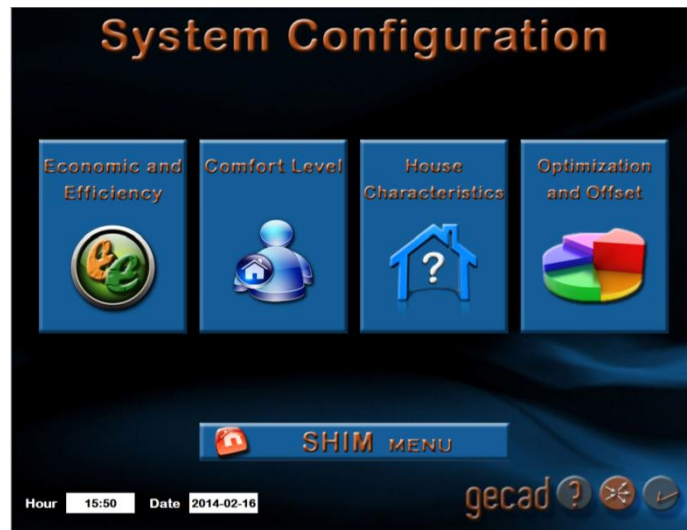


Figura 3.13 – Submenu da interface do Sistema SHIM para a configuração do sistema.

No submenu relativo aos níveis de conforto são definidos índices relativos a diferentes aspetos relacionados com os diversos recursos energéticos do consumidor doméstico. É de salientar que os índices de conforto dependem da divisão e do contexto. Como exemplo, os índices de conforto para os sistemas de climatização consideram o fator de temperatura interna na respetiva divisão, por outro lado o índice de conforto para um televisor tem em consideração a presença de uma pessoa na respetiva divisão. Este submenu considera também índices para os recursos de produção que dependem diretamente do vento e da luz solar para o caso do gerador eólico e do painel fotovoltaico respetivamente. Por outro lado, o controlo da unidade de microcogeração existente na instalação considera a necessidade de energia térmica do consumidor doméstico. Não menos importante, é a possibilidade de definir os índices para o uso dos veículos elétricos. Neste caso o utilizador pode impor uma energia mínima da bateria do veículo para determinados momentos do dia em diferentes dias da semana.

No submenu das características da casa são considerados diferentes aspetos, nomeadamente o número de pessoas que residem habitualmente na casa, o número de divisões, o tamanho da casa em metros quadrados, o número de pisos, e as informações do dia (hora e data). Para o submenu da otimização e *offset* são considerados o consumo total, a produção total, a redução de potência pretendida, o limite de potência existente e as informações do dia (hora e data).

3.3. Modelo para gestão de cargas

Esta secção descreve um modelo para a gestão do consumo energético de um consumidor doméstico somente com cargas. O principal objetivo do modelo é a gestão inteligente das cargas de modo a que as potências das cargas se mantenham dentro dos limites aceitáveis pré-definidos pelo consumidor. Todas as restrições e preferências dos consumidores são consideradas na otimização do consumo.

Nesta secção é proposta uma metodologia para o controlo do consumo das cargas de um consumidor doméstico de acordo com um limite imposto para o consumo total da instalação. Este limite imposto pode ter duas origens, nomeadamente por indicação do utilizador ou pela participação num evento de DR.

3.3.1. Modelo proposto

O método proposto para a gestão das cargas define um consumo limite para cada período de acordo com o perfil de consumo. Contudo, são muitos os eventos que podem ocorrer e alterar o consumo normal previsto pelo perfil de consumo, alterando de certa forma, o limite de consumo para diferentes períodos do dia.

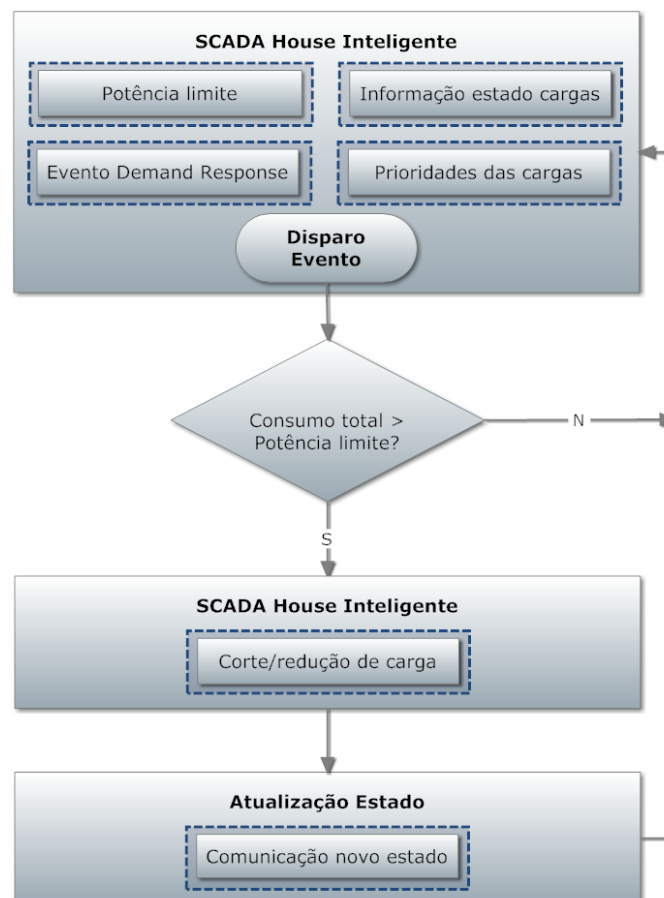


Figura 3.14 – Diagrama do modelo de gestão de cargas.

De acordo com a metodologia apresentada na Figura 3.14, sempre que o consumo é mais elevado do que o limite de consumo definido, é necessário que o SHIM reduza inteligentemente o consumo através do corte ou redução das cargas com menor impacto para o conforto do utilizador, isto é, deslastrando as cargas com menor prioridade.

3.3.2. Formulação matemática

O principal objetivo da otimização (3.1) é minimizar o impacto da redução do consumo no conforto dos utilizadores. Deste modo, é necessário o consumidor definir a importância para cada equipamento em cada contexto específico. Isto depende entre outros, da hora do dia, do dia da semana, da temperatura exterior, da estação do ano, etc. Uma prioridade para cada carga λ_{Load} é inicialmente definida de acordo com o perfil de cada utilizador.

Se todas as cargas forem variáveis, o balanço de potência será possível para qualquer valor de limite de potência (3.2). Todavia, na existência de cargas discretas o problema pode obter soluções inviáveis. Deste modo, é importante a inclusão das variáveis de regulação Reg_{Down} e Reg_{Up} permitindo assim pequenos desvios do limite de potência tornando a otimização mais robusta. Cada carga deve cumprir os limites máximos e mínimos de consumo (3.3) e (3.4). Sendo que na equação (3.3), a variável P_{Load}^{Max} representa a potência máxima a ser consumida por cada carga, sendo que, no caso de as cargas serem discretas, o valor de consumo mínimo é igual ao valor de consumo máximo $P_{Load}^{Min} = P_{Load}^{Max}$. Para tal, a variável x_{Load} representa uma variável binária de modo a determinar se a carga está ligada ou desligada. No caso de cargas com consumos reguláveis, as potências máximas P_{Load}^{Max} e mínimas P_{Load}^{Min} de consumo das cargas têm valores distintos. Quando as cargas não podem ser controladas pelo sistema de gestão ou quando o utilizador não pretende que determinada carga seja controlada pelo sistema, a potência correspondente de tipo de carga é incluída na variável $P_{FixedLoads}$.

- Função objetivo:

$$\text{Minimize } f = \left\{ \sum_{Load=1}^{nLoad} \lambda_{Load} \times P_{Load} + \lambda_{Down} \times Reg_{Down} + \lambda_{UP} \times Reg_{UP} \right\} \quad (3.1)$$

- Limite de consumo

$$P_{Limit} = P_{FixedLoads} + \sum_{Load=1}^{nLoad} P_{Load} + Reg_{Down} - Reg_{UP} \quad (3.2)$$

- Limite máximo e mínimo das cargas

$$P_{Load} \leq P_{Load}^{Max} \times x_{Load} \quad (3.3)$$

$$P_{Load} \geq P_{Load}^{Min} \times x_{Load} \quad (3.4)$$

3.4. Modelo para gestão de cargas e de veículos elétricos

Esta secção descreve um modelo para a gestão do consumo de um consumidor doméstico com cargas e veículos elétricos do tipo V2G. O principal objetivo do modelo é a gestão inteligente das cargas e dos veículos de modo que as potências se mantenham dentro dos limites pré-definidos pelo utilizador. As restrições e as preferências dos consumidores são consideradas na otimização do consumo, quer para as cargas, quer para os veículos elétricos, que neste caso, têm características diferentes das cargas.

Nesta secção é proposta uma metodologia para o controlo de cargas e de veículos elétricos de um consumidor doméstico de acordo com um limite imposto para o consumo total da instalação. Este limite imposto pode ter duas origens, proveniente de indicações do utilizador ou proveniente do gestor da rede elétrica através, por exemplo, de eventos de *Demand Response* que procuram responder às necessidades da rede elétrica. Neste caso particular, a gestão tem características diferentes da anterior pois pode utilizar a descarga dos veículos elétricos para responder às necessidades da rede elétrica em vez de cortar no consumo, e ao mesmo tempo diminuir o conforto do utilizador.

3.4.1. Modelo proposto

Seguindo a mesma linha de pensamento subjacente à metodologia descrita anteriormente, no presente modelo apresentado na Figura 3.15, o SHIM considera o limite de consumo, o evento de *Demand Response*, as prioridades para os veículos incluindo a carga e descarga, as prioridades para cada carga, a informação do estado dos veículos e das cargas. Sempre que ocorra um evento que imponha a redução do consumo elétrico, o SHIM pode optar pelo uso combinado das seguintes soluções:

- Desligar e/ou reduzir o consumo das cargas;
- Descarregar alguma energia dos veículos elétricos que não estão em carga e que tenham energia armazenada em excesso, considerando a energia necessária para os utilizadores realizarem as viagens requeridas;
- Desligar e/ou reduzir a carga nos veículos elétricos que estão em carga, assegurando que o sistema irá ter disponibilidade para carregar os veículos nos períodos seguintes, de forma a assegurar que os utilizadores poderão usar os veículos na hora requerida para efetuarem as viagens pretendidas.

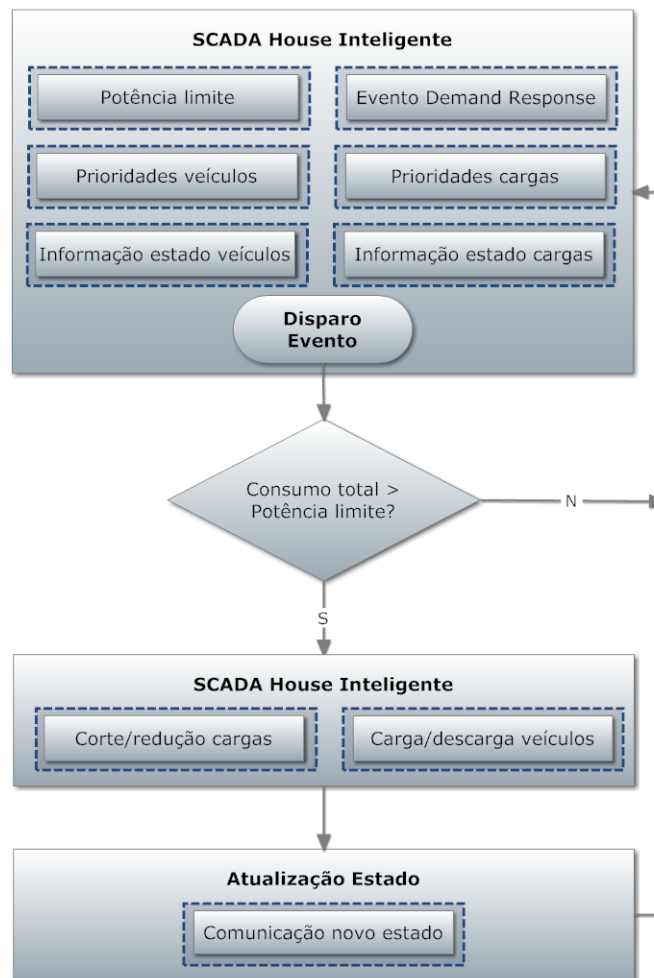


Figura 3.15 – Diagrama do modelo de gestão de cargas e veículos elétricos.

3.4.2. Formulação matemática

O principal objetivo da otimização (3.5) é minimizar o impacto da redução de consumo de energia no conforto dos utilizadores, enquadrando o consumo das cargas com a carga ou descarga dos veículos elétricos. O valor limite da potência consumida pelo sistema é garantido através da equação (3.6). Assim como descrito anteriormente, o consumidor deverá definir a importância para cada carga e para cada veículo elétrico, tanto para carga como para descarga, em cada contexto específico.

As prioridades para cada carga λ_{Load} são inicialmente definidas de acordo com o perfil de consumo dos utilizadores. As equações dos limites máximo e mínimo das cargas estão descritas na secção 3.3.2 de acordo com as equações (3.3) e (3.4). Em situações em que as cargas não podem ser controladas pelo sistema de gestão ou quando o utilizador não pretende que determinada carga seja controlada pelo sistema, a potência correspondente de tipo de carga é incluída na variável $P_{FixedLoads}$.

Além disso, são definidas e incorporadas na formulação as prioridades para os veículos elétricos. No caso de o veículo estar a carregar, o sistema pode parar o carregamento de modo a reduzir o consumo global do consumidor. Se eventualmente a bateria do veículo estiver suficientemente carregada, de acordo com as necessidades indicadas pelo utilizador, o sistema de gestão pode descarregar alguma energia em vez de cortar o consumo em algumas cargas.

Contudo, o modo de carga ou de descarga da bateria dependem das prioridades a si associadas e que são comparadas com as prioridades das cargas, assim como das restrições técnicas que limitem a quantidade de energia carregada (3.7) e descarregada (3.8). A equação (3.9) refere-se aos limites de carga das baterias dos veículos até à sua máxima capacidade, sendo que a equação (3.10) refere-se aos limites de descarga das baterias dos veículos até à energia mínima imposta pelo proprietário do veículo tendo em consideração a minimização da degradação das baterias. A equação (3.11) refere-se ao balanço de potência da bateria dos veículos e a equação (3.12) impõe que a bateria do veículo não pode carregar e descarregar simultaneamente.

- Função objetivo:

Minimize $f = \min$

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{Load=1}^{nLoad} \lambda_{Load} \times P_{Load} + \lambda_{Down} \times Reg_{Down} + \lambda_{UP} \times Reg_{Up} + \sum_{Vehicle=1}^{nVehicle} \lambda_{ChVehicle} \times P_{ChVehicle} \\ & - \sum_{Vehicle=1}^{nVehicle} \lambda_{DchVehicle} \times P_{DchVehicle} \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

- Limite de consumo

$$P_{Limit} = P_{FixedLoads} + \sum_{Load=1}^{nLoad} P_{Load} + Reg_{Down} - Reg_{Up} + \sum_{Vehicle=1}^{nVehicle} P_{ChVehicle} - \sum_{Vehicle=1}^{nVehicle} P_{DchVehicle} \quad (3.6)$$

- Restrições dos veículos elétricos

$$P_{ChVehicle} \leq P_{ChVehicle}^{Max} \times x_{Vehicle} \quad (3.7)$$

$$P_{DchVehicle} \leq P_{DchVehicle}^{Max} \times y_{Vehicle} \quad (3.8)$$

$$P_{ChVehicle} \times \Delta t \leq E_{Vehicle}^{Max} - E_{Initial} \quad (3.9)$$

$$P_{DchVehicle} \times \Delta t \leq E_{Initial} - E_{Vehicle}^{Min} \quad \text{if } E_{Initial} > E_{Vehicle}^{Min} \quad (3.10)$$

$$E_{Vehicle} = E_{Initial} + (P_{ChVehicle} - P_{DchVehicle}) \times \Delta t \quad (3.11)$$

$$x_{Vehicle} + y_{Vehicle} \leq 1 \quad (3.12)$$

3.5. Modelo para gestão de cargas, de veículos elétricos e de produção distribuída

Um modelo de gestão do consumo energético de um consumidor doméstico com cargas, veículos elétricos do tipo V2G e produção distribuída, é descrito nesta secção. O principal objetivo do modelo é a gestão inteligente das cargas, dos veículos e da produção distribuída de modo a que sejam considerados os limites de consumo e de produção. As restrições e as preferências dos consumidores são consideradas na otimização do consumo, para as cargas, para os veículos e para a produção distribuída, que neste último caso, têm características diferentes das cargas e dos veículos.

Nesta secção é proposta uma metodologia para o controlo das cargas, dos veículos elétricos e da produção distribuída de um consumidor doméstico de acordo com um limite imposto para o consumo total da instalação. Neste contexto, o limite imposto pode ter três origens, (i) proveniente de indicações do utilizador, (ii) proveniente do gestor da rede elétrica e (iii) proveniente da produção disponível no consumidor doméstico. Comparando com os modelos anteriores, neste modelo o utilizador pode limitar o consumo pela quantidade de energia produzida nas unidades de microprodução.

Por outro lado, se a produção for superior ao consumo, o sistema poderá carregar mais quantidade de energia nos veículos elétricos, ou fornecer energia à rede caso esta solução esteja contratualizada entre o operador do sistema e o consumidor.

3.5.1. Modelo proposto

A integração conjunta de microprodução, veículos elétricos e cargas no consumidor doméstico formam a base do modelo proposto. O principal contributo deste modelo reside na inclusão de microprodução na gestão energética de um consumidor doméstico. No que diz respeito à microprodução foram considerados três tipos de tecnologias: a produção eólica, a produção fotovoltaica e a cogeração, fornecendo ao consumidor energia térmica e energia elétrica. Este modelo mais complexo define um limite de consumo de acordo com a energia produzida para o mesmo período.

De acordo com a metodologia apresentada na Figura 3.16, o Sistema SHIM considera o limite de consumo, o evento de *Demand Response*, o contexto do consumidor, as prioridades para os veículos incluindo a carga e descarga, as prioridades para cada carga, as prioridades para cada tecnologia de produção, a informação do estado dos veículos, das cargas e da microprodução.

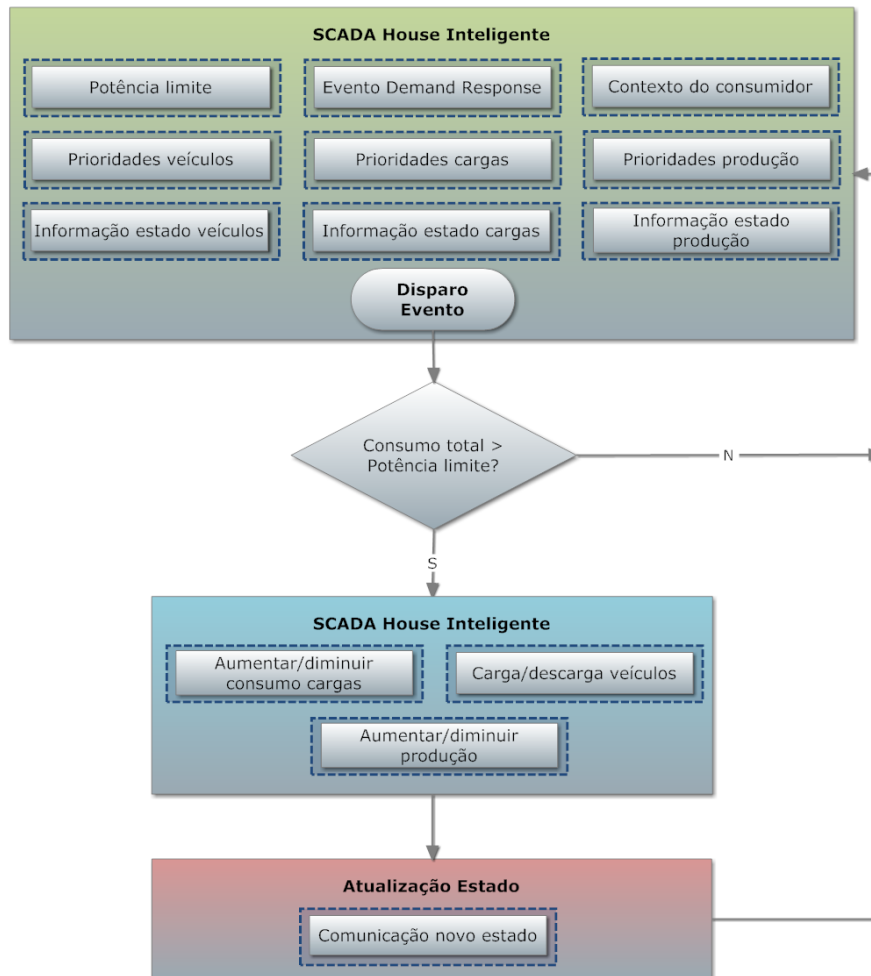


Figura 3.16 – Diagrama de modelo de gestão de cargas, veículos elétricos e microprodução.

Sempre que ocorra um evento de gestão do consumo, o Sistema SHIM pode optar pelo seguinte conjunto de soluções:

- Necessidade de diminuir o consumo:
 - Desligar e/ou reduzir o consumo das cargas
 - Interromper e/ou reduzir a carga nos veículos elétricos que estão em carga
 - Descarregar energia dos veículos elétricos que não estão em carga
 - Ligar e/ou aumentar a produção
- Necessidade de aumentar o consumo:
 - Ligar e/ou aumentar o consumo das cargas
 - Ligar/aumentar a carga nos veículos elétricos que não estão em descarga
 - Desligar/diminuir a descarga nos veículos elétricos que estão em descarga
 - Desligar e/ou diminuir a produção
 - Fornecer energia à rede

Este modelo considera as cargas, os veículos e a produção do consumidor doméstico, associados a uma prioridade de uso definidos pelo utilizador da instalação. Na presença de um novo evento, o algoritmo avalia o estado atual de todos os equipamentos da instalação e, de acordo com a prioridade de cada recurso, é executado um escalonamento ótimo em relação à metodologia definida e ao objetivo prioritário.

Neste modelo, é proposto um conjunto de situações para o disparo de um evento de gestão de energia do consumidor doméstico:

- Redução do consumo indicada pelo gestor da rede
- Redução do consumo devido ao preço elevado de energia elétrica
- Redução do consumo por imposição do utilizador
- Aumento do consumo (incluindo a carga dos veículos) devido ao excesso de produção (causado por excesso de vento ou de radiação solar)
- Aumento do consumo (incluindo a carga dos veículos) devido à necessidade de energia térmica produzida na unidade de cogeração que irá consequentemente aumentar a energia elétrica disponível no consumidor doméstico.

3.5.2. Formulação matemática

O principal objetivo da otimização (3.13) é minimizar o impacto da redução do consumo no conforto do utilizador que é desenvolvida a partir do ponto de vista de gestão dos recursos energéticos do consumidor doméstico incluindo a produção. O sistema garante o valor de limite de potência através da equação de balanço (3.14). Assim como descrito anteriormente, o consumidor deverá definir a importância para cada carga, para cada veículo elétrico, tanto para carga como para descarga, e para cada recurso de produção distribuída, em cada contexto específico. Sendo que as equações dos limites máximos e mínimos das cargas estão descritas na secção 3.3.2 de acordo com as equações (3.3) e (3.4). Quando as cargas não podem ser controladas pelo sistema de gestão ou quando o utilizador não pretende que determinada carga seja controlada pelo sistema, a potência correspondente para cada tipo de carga é incluída na variável $P_{FixedLoads}$. As equações representativas dos veículos elétricos estão descritas na secção 3.4.2.

Para este modelo, são definidas e incorporadas na formulação as prioridades para os recursos de produção distribuída. As equações (3.15) e (3.16) referem-se aos limites máximos de produção eólica e de produção fotovoltaica respetivamente. A variável x_{Wind} é a variável binária da produção eólica que ativa/desativa a conexão da unidade eólica no sistema. A variável x_{pv} é a variável binária de produção fotovoltaica que ativa/desativa a conexão da unidade fotovoltaica no sistema. As equações (3.17) e (3.18) referem-se aos

limites máximos e mínimos de produção através da microcogeração. A variável x_{CHP} é a variável binária da produção elétrica da cogeração que ativa/desativa a conexão da unidade de cogeração no sistema. A equação (3.19) indica o limite máximo que o sistema pode injetar energia elétrica na rede que é definida por contrato ou pelos limites técnicos.

- Função objetivo:

Minimize $f = \min$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{Load=1}^{nLoad} \lambda_{Load} \times P_{Load} + \lambda_{Down} \times Reg_{Down} + \lambda_{UP} \times Reg_{Up} + \sum_{Vehicle=1}^{nVehicle} \lambda_{ChVehicle} \times P_{ChVehicle} \\ - \sum_{Vehicle=1}^{nVehicle} \lambda_{DchVehicle} \times P_{DchVehicle} - \sum_{Wind=1}^{nWind} \lambda_{Wind} \times P_{Wind} - \sum_{PV=1}^{nPV} \lambda_{PV} \times P_{PV} \\ - \sum_{CHP=1}^{nCHP} \lambda_{CHP} \times P_{CHP} - \lambda_{Grid} \times P_{Grid} \end{array} \right\} \quad (3.13)$$

- Limite de consumo

$$\begin{aligned} P_{Limit} = & P_{FixedLoads} + \sum_{Load=1}^{nLoad} P_{Load} + Reg_{Down} - Reg_{Up} + \sum_{Vehicle=1}^{nVehicle} P_{ChVehicle} \\ & - \sum_{Vehicle=1}^{nVehicle} P_{DchVehicle} - \sum_{Wind=1}^{nWind} P_{Wind} - \sum_{PV=1}^{nPV} P_{PV} - \sum_{CHP=1}^{nCHP} P_{CHP} + P_{Grid} \end{aligned} \quad (3.14)$$

- Restrições da produção distribuída

$$P_{Wind} \leq P_{Wind}^{Max} \times x_{Wind} \quad (3.15)$$

$$P_{PV} \leq P_{PV}^{Max} \times x_{PV} \quad (3.16)$$

$$P_{CHP} \leq P_{CHP}^{Max} \times x_{CHP} \quad (3.17)$$

$$P_{CHP} \geq P_{CHP}^{Min} \times x_{CHP} \quad (3.18)$$

$$P_{Grid} \leq P_{Grid}^{Max} \times x_{Grid} \quad (3.19)$$

3.6. Modelo dinâmico para o controlo das cargas

Os modelos anteriormente descritos apresentam soluções para os limites de potência que ocorrem com os eventos, quer estes sejam impostos pelos utilizadores, quer estes tenham origem em eventos de DR. No entanto, em eventos que tenham duração por períodos elevados, o corte das cargas tem de ter em consideração não só os fatores relacionados com as preferências dos utilizadores mas também as características de funcionamento dos equipamentos. Como exemplo, é possível desligar um frigorífico durante 15 minutos sem afetar o conforto do consumidor (a temperatura no interior do frigorífico não sobe drasticamente). No entanto, se o corte for superior a uma hora o impacto poderá ser significativo.

Esta secção descreve um método inovador proposto para a gestão dos recursos existentes numa habitação através de um algoritmo de otimização dinâmico para eventos de longa duração, nomeadamente alguns eventos de *Demand Response*. A principal contribuição deste modelo é a inclusão de restrições de tempo na gestão dos recursos, bem como a avaliação do contexto, a fim de garantir os níveis de conforto necessários. A metodologia dinâmica de gestão dos recursos permite ser aplicada aquando da ocorrência de um evento de DR, principalmente em um evento de longa duração. Assim, a otimização dinâmica altera as prioridades das cargas de acordo com a duração e nível de potência do evento de DR.

3.6.1. Módulo de gestão dos recursos

O módulo de gestão dos recursos permite a gestão inteligente do consumo de energia na plataforma do SHIM. O módulo de gestão dos recursos é ativado pelo disparo de eventos, tais como: novas informações fornecidas pelos sensores; existência de um evento externo como um evento de *Demand Response*; alteração do limite de potência de consumo e alteração do módulo de sincronização do tempo.

O primeiro passo do modelo consiste na recolha de todos os dados necessários, tais como: a prioridade de recursos no presente contexto de utilização; o limite de potência de consumo imposto pelo utilizador ou pelos eventos de *Demand Response*; as características dos recursos (limites de potência e limites de tempo); e o estado atual de cada recurso. Posteriormente, o valor atual da potência consumida e o limite da potência imposta são comparados. No caso de a potência de consumo ser maior que o limite de consumo é necessário cortar ou reduzir o consumo das cargas. Um algoritmo de otimização é executado com o intuito de minimizar o impacto do corte de potência.

No caso de o valor da "regulação para baixo" ser maior do que 0 significa que o algoritmo de otimização obtém uma boa solução, mas não suficientemente boa para garantir o máximo da potência de consumo. A informação resultante da otimização é fornecida ao utilizador, pelo que este tem duas opções de decisão. Se o utilizador aceita a solução, o sistema envia as ordens para os atuadores. Caso contrário, se o utilizador não aceitar a decisão, deve ser alterado o estado de algumas cargas ou mudar o limite de consumo. Neste caso, o Sistema SHIM identifica esta mudança como um novo evento e reinicia o processo de gestão de recursos. A Figura 3.17 mostra a estrutura do módulo.

A principal razão para a variável de "regulação para baixo" ser superior a 0, é devido à existência de cargas fixas geridas pelo utilizador. As cargas fixas não podem ser controladas pelo Sistema SHIM. Um exemplo de uma carga fixa pode ser uma televisão se o sistema detetar a presença de uma pessoa na sala de estar ou um veículo elétrico quando

está em processo de carga imposto pelo utilizador. A definição de cargas fixas depende de cada contexto e do perfil dos utilizadores.

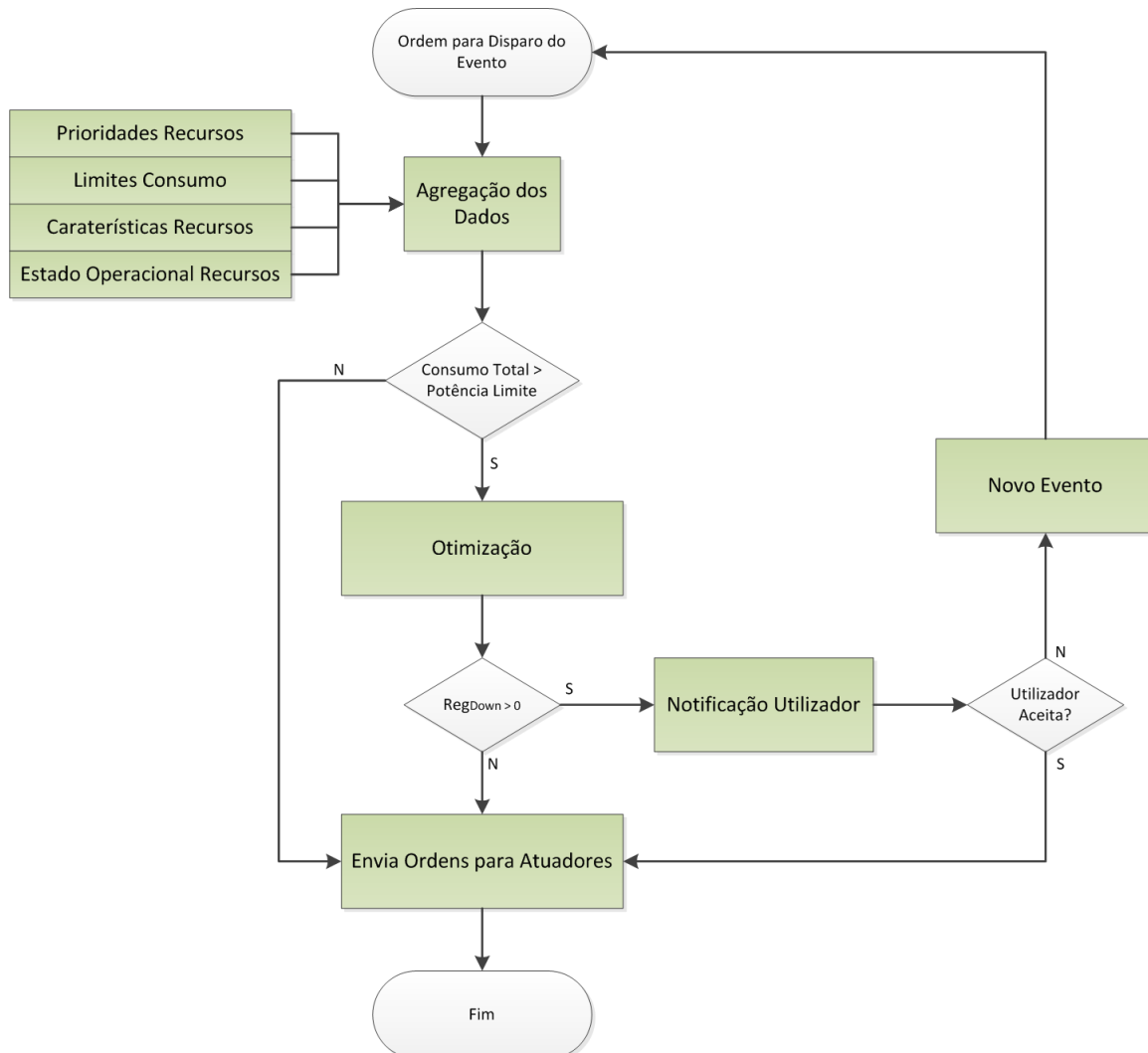


Figura 3.17 – Descrição do módulo de gestão dos recursos.

3.6.2. Método dinâmico para alteração das prioridades das cargas

A fim de participar nos eventos de *Demand Response*, o SHIM deve cortar algumas cargas durante os eventos com o objetivo de reduzir o consumo. No entanto, algumas cargas como os frigoríficos não podem estar desligadas durante horas consecutivas. Neste sentido é necessária uma variação dinâmica das prioridades das cargas (*Dynamic Loads Priority - DLP*) durante os eventos de *Demand Response* em vez de desligar essas cargas durante longos períodos. Cada carga pode ser caracterizada pelo tempo máximo que pode estar desligada em minutos T_{off_max} e pelo tempo máximo que pode/deve estar ligada em minutos T_{on_max} .

Por outro lado, existem cargas com comportamentos distintos. Tendo como exemplo um sistema de AVAC ou um frigorífico, estes não precisam estar constantemente ligados. Este tipo de carga deve estar ligada durante alguns minutos após os quais fica desligada até atingir um limite predefinido (temperatura neste caso). Assim pode-se verificar um ciclo mais ou menos constante com tempos de ligar e desligar similares a cada ciclo. De acordo com a base de dados do laboratório LASIE do GECAD, o frigorífico apresenta o perfil de carga de acordo com a Figura 3.18. No caso do frigorífico, este está ligado durante 11 minutos (entre 8:33 PM e 8:44 PM) e desligado durante 52 minutos (entre 8:44 PM e 9:36 PM).

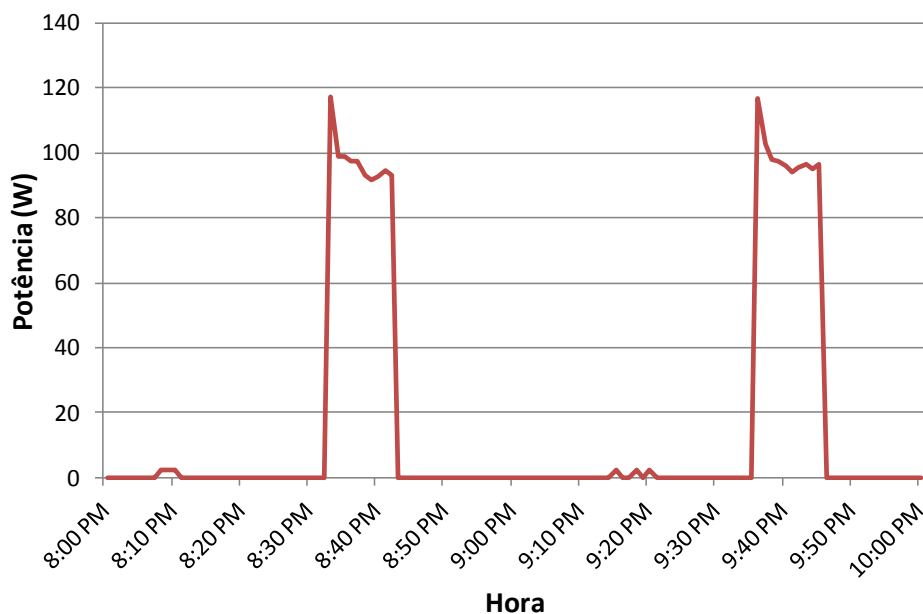


Figura 3.18 – Perfil de carga do frigorífico para duas horas de consumo (dados do LASIE).

Neste sentido, o método desenvolvido propõe o uso de um fator k para afetar as prioridades das cargas λ_i em cada processo de otimização obtendo deste modo um novo fator de prioridade λ^f para ser usado no processo de otimização. Após o processo de otimização, o sistema irá avaliar o estado de cada carga. Enquanto a carga está *Off* o valor do fator k irá diminuir, decrementando o fator da prioridade na próxima otimização. Se o valor do k for menor do que 0, o sistema pode considerar como uma carga fixa no estado *Off* bloqueando o controlo automático na próxima otimização.

Por outro lado, se a carga está ligada e o valor do k é maior do que 1, o sistema pode considerar como uma carga fixa no estado *On* bloqueando também o controlo automático. O valor de k , se a carga está ligada, irá aumentar, incrementando, consequentemente, o fator de prioridade na próxima otimização. A Figura 3.19 apresenta o mecanismo proposto.

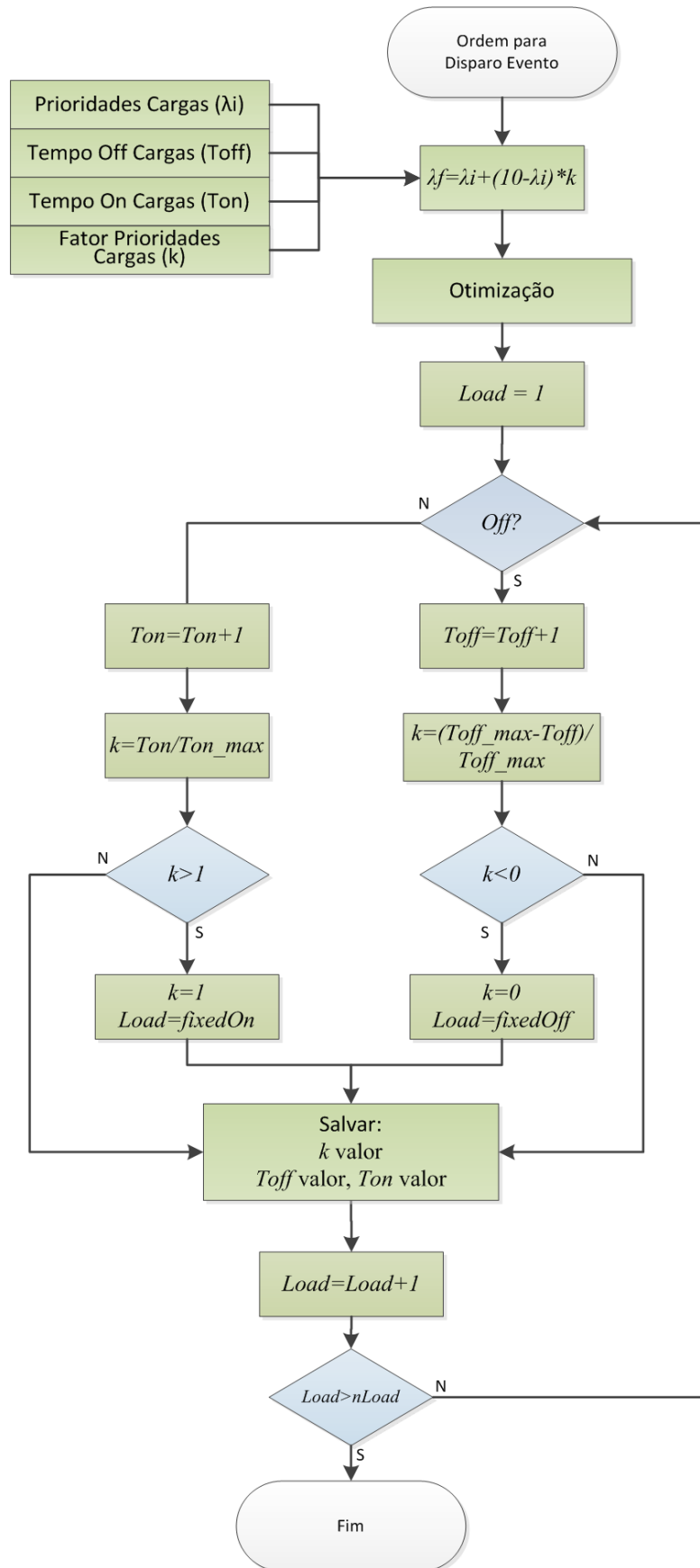


Figura 3.19 – Mecanismo do método dinâmico para as prioridades das cargas em cada período do processo de otimização.

3.6.3. Formulação matemática

A formulação matemática do modelo proposto visa a gestão dinâmica de cargas no sistema. Esta formulação tem como referência o modelo de gestão de cargas apresentado na secção 3.3.2. O algoritmo de otimização desenvolvido (3.1) tem como principal objetivo garantir o limite de consumo de eletricidade durante a operação do Sistema SHIM, considerando diferentes tipos de eventos, tais como, os níveis de conforto, a interação com o utilizador e o limite de consumo P_{Limit} . O sistema garante o valor de limite de potência de acordo com a equação (3.2). As equações dos limites máximos e mínimos das cargas estão descritas na secção 3.3.2 de acordo com as equações (3.3) e (3.4).

O consumidor deverá definir a importância para cada carga em cada contexto específico. Os fatores de prioridade das cargas mudam entre 0 e 10 sendo que o valor 10 corresponde ao fator com menor prioridade para o Sistema SHIM. Em simulações onde as cargas não estão ligadas a qualquer atuador ou o utilizador não quer o controlo automático de certas cargas, a potência correspondente a essas cargas são incluídas na variável $P_{FixedLoads}$. Contudo, qualquer valor de prioridade pode ser atribuído a este tipo de cargas, pois durante a otimização dinâmica em que seja necessário uma maior redução de consumo, algumas destas cargas fixas podem passar a dinâmicas. A grande vantagem desta metodologia é alteração das cargas fixas a qualquer momento do processo de otimização durante o evento de *Demand Response*.

3.7. Modelo para análise eficiente da energia

O modelo proposto nesta secção tem como objetivo permitir a análise da eficiência de energia de um consumidor doméstico no Sistema SHIM de modo a demonstrar os benefícios económicos com a aplicação de métodos de otimização no consumidor doméstico aquando da existência de eventos de *Demand Response*. Este modelo depende diretamente dos preços da energia elétrica e das características dos eventos de DR.

3.7.1. Modelo para a avaliação dos benefícios económicos na gestão do consumo

O desenvolvimento e a implementação do SHIM tem vantagens para controlar e monitorizar a instalação das habitações. O sistema disponibiliza uma interface entre o consumidor e o sistema que permite controlar e monitorizar vários recursos como produção distribuída, cargas, veículos elétricos, segurança, estado do sistema e configuração do sistema.

O módulo de economia e eficiência do Sistema SHIM é importante para se obter os benefícios económicos para os consumidores domésticos. A Figura 3.20 apresenta as informações necessárias e o processo do método utilizado para avaliar os benefícios económicos no consumidor doméstico. Os dados importantes para este método são:

- Dados de consumo;
- Consumo do hardware SHIM;
- Dia da semana e a hora;
- Limite de potência;
- Preço da energia.

As estratégias a adotar no presente módulo dependem das características de limite de potência (duração e valor de energia).

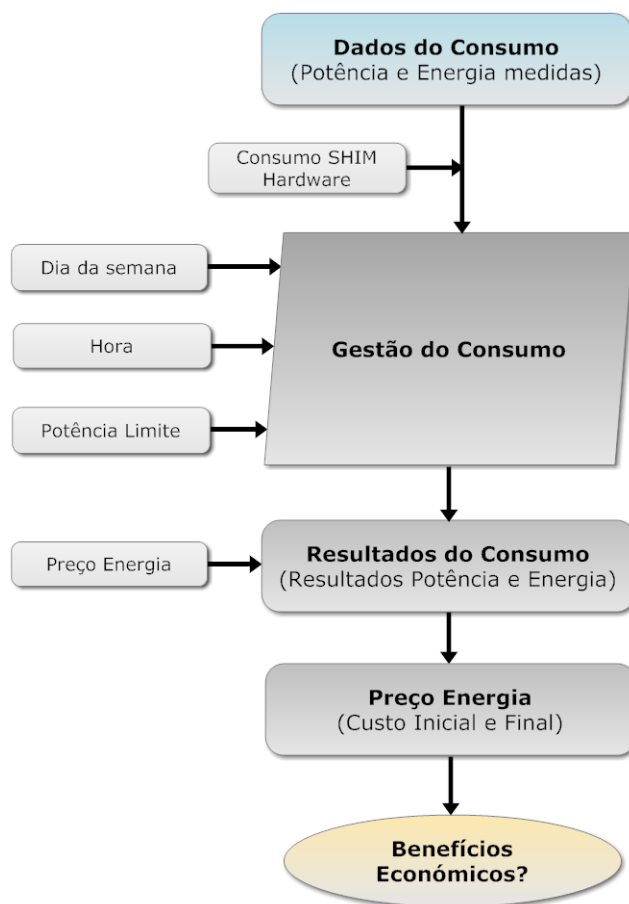


Figura 3.20 – Módulo de economia e eficiência do Sistema SHIM.

3.8. Conclusões

O Sistema SHIM é uma plataforma de simulação desenvolvida e implementada para funcionar como um sistema de gestão de uma instalação doméstica com algumas funções avançadas. A plataforma desenvolvida permite o controlo real de recursos de energia oferecendo apoio à decisão aos consumidores domésticos. A plataforma visa melhorar a

eficiência energética, a segurança, o conforto e a operação e controlo de todos os recursos energéticos disponíveis na instalação. O sistema de gestão de energia pode ser integrado em vários dispositivos, como um *smartphone* ou *tablet* permitindo controlar e monitorizar a instalação. O SHIM integra vários métodos de otimização para apoiar a gestão de energia do consumidor, o que permite reduzir o consumo total do consumidor em tempo real.

A metodologia de gestão desenvolvida para o Sistema SHIM considera vários fatores que influenciam a gestão de energia:

- Tipo de consumidor;
- Níveis de conforto;
- Prioridade dos recursos;
- Contratos de DR;
- Informações de estado das cargas, dos veículos e da produção distribuída;
- Condições meteorológicas;
- Hora do dia;
- Características da instalação.

Neste sentido, foram propostas neste capítulo metodologias a serem aplicadas no Sistema SHIM tendo em conta as diversas características que um consumidor doméstico pode ter. Primeiro desenvolveu-se uma metodologia de otimização considerando somente a utilização de cargas, sendo o principal objetivo do modelo, gerir de forma inteligente as cargas considerando os limites de consumo indicados, as restrições das cargas e as preferências dos consumidores.

Num segundo caso propôs-se uma metodologia de otimização considerando a utilização de cargas e de veículos elétricos, sendo o principal objetivo do modelo gerir de forma inteligente as cargas e os veículos considerando os limites de consumo indicados. As restrições e as preferências dos consumidores são consideradas na otimização do consumo, quer para as cargas, quer para os veículos. Neste caso os veículos têm características diferentes das cargas, por exemplo, consideram dois modos de funcionamento, a carga ou a descarga.

Uma metodologia de otimização conjunta de utilização de cargas, veículos elétricos e de microprodução distribuída é apresentada no terceiro modelo desenvolvido nesta secção. O principal objetivo desta metodologia reside na gestão inteligente de cargas, de veículos elétricos e de produção distribuída tendo em conta restrições ao nível dos limites de consumo e de produção de energia. As restrições e as preferências dos consumidores são consideradas na otimização do consumo, para as cargas, para os veículos e para a produção distribuída. O modelo possui a capacidade de gerir as diversas e distintas características de todos os recursos energéticos existentes numa instalação doméstica.

No quarto caso, propôs-se um modelo dinâmico para a gestão de cargas. A principal contribuição deste modelo é a inclusão de restrições de tempo na gestão dos recursos, bem como a avaliação do contexto, a fim de garantir os níveis de conforto necessários. A metodologia dinâmica de gestão dos recursos permite ser aplicada aquando da ocorrência de um evento de *Demand Response*, principalmente com eventos de longa duração, alterando as prioridades das cargas durante o evento que são consideradas na otimização dinâmica. Neste caso é considerado um módulo de gestão dos recursos que permite a gestão inteligente do consumo de energia na plataforma do SHIM. O módulo de gestão dos recursos é ativado pelo disparo de um evento, por exemplo, quando existem mesmo novas informações fornecidas pelos sensores, quando existe um evento externo como um evento de DR, ou quando o limite da potência de consumo muda através do módulo de sincronização do tempo. Deste modo, o modelo aborda vários tipos de eventos, desde a existência de novas informações fornecidas pelos sensores, do evento de DR, da alteração do limite da potência de consumo, até à alteração do módulo de sincronização do tempo.

Por último, é descrito um modelo para a análise eficiente de energia num consumidor doméstico. Este modelo tem como objetivo permitir a análise da eficiência de energia de um consumidor doméstico no SHIM de modo a demonstrar os benefícios económicos com a aplicação de métodos de otimização no consumidor doméstico aquando da existência de eventos de *Demand Response*.

Capítulo 4

Casos de Estudo

4. Casos de Estudo

4.1. Introdução

A grande diversidade de características dos modelos propostos no capítulo anterior, leva à necessidade de criar casos de estudo para cada metodologia. Assim, a presente secção apresenta vários casos de estudo onde o Sistema SHIM utiliza diferentes algoritmos em função dos recursos de energia existentes na habitação. Neste capítulo são apresentados cinco casos de estudo e um subcapítulo para a definição das características dos consumidores. A Tabela 4.1 resume cada caso de estudo desenvolvido sendo que cada um tem as suas próprias características que o distingue dos restantes.

O subcapítulo 4.2 apresenta uma descrição dos perfis de consumo definidos no SHIM, assim como as principais características dos equipamentos existentes no laboratório. Deste modo, são abrangidas diversas características relativas a diferentes perfis de consumo, tais como: perfil do consumidor (número de pessoas, a potência contratada, as cargas de consumo entre outras); perfil individual de cargas típicas dos consumidores domésticos (frigorífico, AVAC, micro-ondas, entre outras); e o perfil de produção de algumas tecnologias de produção distribuída (fotovoltaica e eólica).

O Caso de estudo 1 refere-se à metodologia desenvolvida no Sistema SHIM para a gestão de consumidores domésticos que contenham somente cargas no seu sistema elétrico. Neste caso de estudo foi desenvolvido um cenário que considera três etapas. Na primeira etapa (1A) é considerado que todas as cargas estão inicialmente ligadas e devem ser geridas de acordo com um limite de potência indicado pelo consumidor doméstico. Posteriormente à otimização realizada na etapa 1A, o utilizador decide ligar algumas cargas sendo por isso necessário re-otimizar (etapa 1B) o sistema de forma a garantir o limite de consumo imposto. De forma a tornar a otimização mais exigente, a etapa 1C tem como ponto de partida a etapa 1B considerando uma nova ação do utilizador em certas cargas.

O Caso de estudo 2 refere-se à metodologia desenvolvida no SHIM para a gestão de consumidores domésticos que considerem a utilização de cargas e de veículos elétricos. Este caso de estudo apresenta um cenário ao longo de um dia com diferentes considerações. As considerações dependem do dia-a-dia do consumidor doméstico, pois os veículos elétricos podem estar em uso (deslocações) ou estarem ligados em outros pontos de carregamento (parques de estacionamento, zonas comerciais, zonas industriais, etc.). No caso de estudo considera-se o disparo de dois eventos de *Demand Response* e a gestão de dois veículos elétricos. No primeiro evento, nenhum veículo elétrico está ligado na habitação. Sendo que um dos veículos está ligado a um consumidor comercial e o outro a um consumidor industrial. No segundo evento ambos os veículos estão ligados à habitação.

Tabela 4.1 – Caraterização dos casos de estudo.

Caraterísticas	Modelo do SHIM				
	Gestão de Cargas (Caso de Estudo 1)	Gestão de Cargas e Veículos Elétricos (Caso de Estudo 2)	Gestão de Cargas, Veículos Elétricos e de Produção Distribuída (Caso de Estudo 3)	Dinâmico para o Controlo de Cargas (Caso de Estudo 4)	Análise Eficiente da Energia (Caso de Estudo 5)
Gestão da energia	Consumo	Consumo e veículos elétricos	Consumo, veículos elétricos e produção	Consumo	Consumo
Objetivo da gestão dos recursos	Minimizar o impacto da redução do consumo no conforto dos utilizadores	Minimizar o impacto da redução do consumo no conforto dos utilizadores	Minimizar o impacto da redução do consumo no conforto dos utilizadores	Garantir o limite de consumo de eletricidade durante a operação do Sistema SHIM	Análise da eficiência de energia consumida
Limites de energia	Consumo	Consumo	Consumo	Consumo	Consumo
Origem dos limites	Indicações do utilizador ou do operador do sistema	Indicações do utilizador ou do operador do sistema	Indicações do utilizador, do operador do sistema ou da produção disponível	Indicações do utilizador ou do operador do sistema	Indicações do utilizador ou do operador do sistema
Valor da prioridade	Definido pelo utilizador	Definido pelo utilizador	Definido pelo utilizador	Definido pelo utilizador e pelas caraterísticas das cargas ao longo do evento	Definido pelo utilizador
Preço de energia considerado	Não	Não	Não	Não	Para identificação dos benefícios económicos
Otimização	No instante do evento	No instante do evento ao longo de um dia	No instante do evento	A cada minuto da duração do evento	Ao longo do evento para um mês
Interação com o utilizador	Ligar cargas em dois instantes	Não	Não	Ao longo do evento	Não
Interação com outros consumidores	Não	Consumidor comercial e industrial	Não	Não	Não
Perfil de consumidores	Recursos energéticos do LASIE	Recursos energéticos do LASIE	Recursos energéticos do LASIE	Recursos energéticos do LASIE	Dados de um consumidor doméstico durante um mês
Perfil de cargas	Consumo instantâneo máximo e mínimo	Consumo instantâneo máximo e mínimo	Consumo instantâneo máximo e mínimo	Consumo máximo e mínimo e tempo de funcionamento	Consumo instantâneo máximo e mínimo
Restrições de tempo	Não	Não	Não	Indicação dos tempos de funcionamento das cargas	Não

O Caso de estudo 3 refere-se à metodologia desenvolvida no SHIM para a gestão de consumidores domésticos que considerem a utilização de cargas, de veículos elétricos e de produção distribuída. Para este caso de estudo são considerados dois cenários com excesso

de produção eólica (Cenários 3A e 3B). Ambos os cenários apresentam diferentes estados iniciais nos seus recursos, mais exatamente em algumas cargas, mantendo, no entanto, as mesmas prioridades. Para ambos os cenários o objetivo passa por obter um balanço de potência entre o consumo e a produção. No entanto, ambos os cenários se encontram, inicialmente, com desequilíbrio no balanço de potência. No Cenário 3A a produção é bem superior ao consumo. Por outro lado, no Cenário 3B a diferença entre a produção e o consumo é menor do que no primeiro cenário.

O Caso de estudo 4 refere-se à metodologia desenvolvida no SHIM para a gestão da energia de um consumidor doméstico ao longo de eventos de *Demand Response* com curta ou longa duração. Neste sentido, foram desenvolvidos dois cenários distintos considerando a duração de eventos de DR de 30 minutos para o Cenário 4A e de 240 minutos (4 horas) para o Cenário 4B. Em ambas as simulações, o evento de *Demand Response* propõe a redução da potência de consumo durante todo o evento tendo em consideração as características individuais e específicas de cada carga.

O Caso de estudo 5 refere-se à metodologia desenvolvida num dos módulos do SHIM para a análise da eficiência do consumo de energia. Neste caso de estudo foram aplicadas duas estratégias. As estratégias têm por base os dados de consumo e consideram os dados relativos ao preço de energia. As estratégias são utilizadas com o intuito de averiguar qual a que obtém melhores resultados na gestão de energia do consumidor doméstico, avaliando os benefícios económicos de cada estratégia. As duas estratégias apresentam, ao longo de diferentes dias de um mês completo, diferentes limites de potência que podem ser de origem interna ou externa (do utilizador ou da rede).

Os caso de estudos foram testados num computador compatível com 2 processadores Intel® Xeon® W3565 3,20GHz, cada um com 4 Cores, 6GB de RAM e com o sistema operativo Windows Server 2007 64bits. A interface dos casos de estudos foi implementada no *software* MOVICON 11 HMI sendo que o módulo de otimização é aplicado através de uma abordagem determinística baseada em programação não linear inteira mista (MINLP⁴) implementado na plataforma *General Algebraic Modeling System (GAMS)*. A interligação entre a interface e o módulo de otimização é desenvolvida na ferramenta de computação MATLAB R2009 64bits.

4.2. Definição das características dos consumidores

Esta secção tem como objetivo definir as características dos consumidores simulados no presente capítulo de casos de estudo assim como o desempenho/características das

⁴ MINLP – Mixed-Integer Non-Linear programming

cargas mais importantes numa habitação. Os perfis dos consumidores apresentados nesta secção servirão de base para os casos de estudo. Neste sentido, apresentam-se os diversos perfis de consumo a considerar nos consumidores domésticos tendo em conta o consumo total, o consumo dos equipamentos, e o perfil de geração das tecnologias de microprodução. É importante realçar que o novo conceito de gestão inteligente de energia nos consumidores domésticos necessita de conhecer as características específicas dos diversos recursos. Deste modo é possível tornar o sistema mais eficaz na resposta às necessidades variáveis que ocorrem no processo de gestão de energia, seja por via da informação do consumidor ou do gestor da rede elétrica.

4.2.1. Perfis de utilização de cargas

As características individuais das cargas permitem ao sistema de gestão de energia responder da melhor forma às necessidades individuais de cada carga, tendo sempre em atenção as necessidades dos utilizadores. Neste sentido, a secção apresenta perfis de consumo de algumas cargas típicas de um consumidor doméstico, dados armazenados na base de dados do Sistema SHIM (mais dados no Anexo C).

4.2.1.1. Frigorífico

Os frigoríficos e arcas congeladoras são dos equipamentos que mais energia consomem numa habitação. O seu perfil de consumo depende de vários fatores como a temperatura interior no frigorífico, a temperatura do local onde está o frigorífico (ex. cozinha), das vezes que o utilizador abre a porta e o tempo que a mantém aberta, a quantidade de alimentos no interior e a necessidade de arrefecimento dos mesmos, entre outros. A Figura 4.1 apresenta o perfil de consumo para dois períodos diferentes em dias consecutivos. Na parte esquerda da Figura 4.1 é apresentado o perfil de consumo entre as 5:00 PM e as 8:00 PM (final da tarde) do dia 14. Na parte direita é apresentado o perfil de consumo entre as 12:00 PM e as 3:00 PM (hora de almoço) do dia 15.

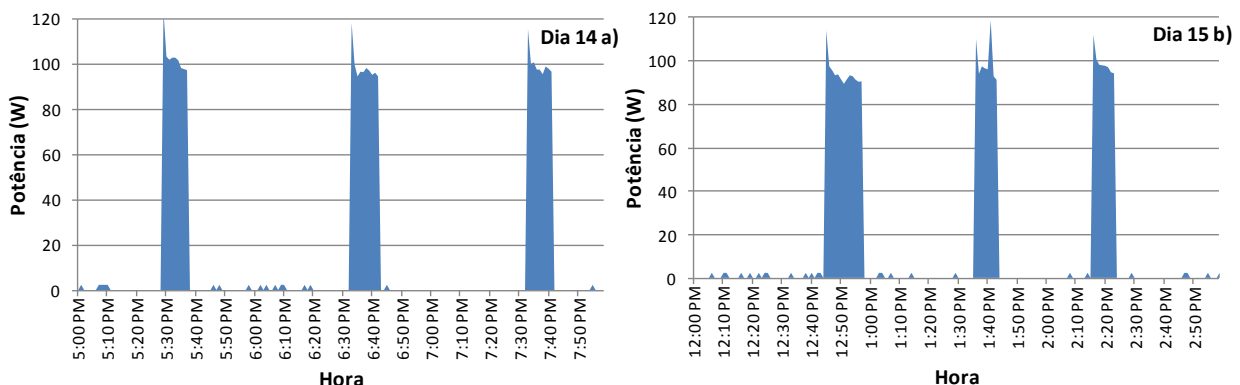


Figura 4.1 – Perfil de consumo de um frigorífico no final de tarde (a) e na hora de almoço do dia seguinte (b).

Comparando os dois períodos apresentados na Figura 4.1, é possível identificar algumas diferenças entre ambas as medições. Por exemplo, no perfil de consumo do final do dia percebe-se que o frigorífico está desligado mais tempo do que no perfil de consumo para a hora de almoço. Além disso, é possível identificar que o perfil de consumo do final de tarde apresenta uma maior estabilidade no tempo em que o frigorífico está ligado. Por outro lado, no perfil da hora de almoço, obtém-se uma primeira fase em que o frigorífico está ligado mais de 10 minutos enquanto nas fases seguintes o tempo em que está ligado reduz para menos de 10 minutos. Neste caso o tempo que está desligado também é menor.

Neste contexto é possível concluir que o frigorífico na hora de almoço atinge no seu interior o máximo de temperatura pretendida num menor espaço de tempo. Os fatores que influenciam este comportamento é o maior número de vezes que a porta é aberta e também o maior valor de temperatura sentida quer dentro da cozinha resultante da temperatura exterior, quer da utilização dos restantes equipamentos. É de salientar que a temperatura da cozinha é influenciada diretamente pela temperatura exterior. Realizando uma análise dos valores obtidos, é evidente que, quanto maior é a temperatura da cozinha maior será a frequência com que o compressor do frigorífico entrará em funcionamento. No mesmo sentido, um maior número de aberturas da porta do frigorífico resulta num aumento do consumo energético necessário para repor a temperatura ideal no interior do frigorífico.

Concluindo, o frigorífico é uma carga que tem um comportamento regular mas que faz a sua própria gestão de acordo com a temperatura sentida no interior. Esta é uma carga que não está sempre ligada mas que está sempre pronta a ligar de acordo com a necessidade de temperatura. É de salientar que no final das 24 horas, este tipo de carga pode apresentar um consumo significativo no consumo total da habitação.

4.2.1.2. Micro-ondas

O micro-ondas é uma carga com um consumo imprevisível, isto é, não se sabe quando é ligado. O seu perfil de consumo depende diretamente da necessidade do utilizador que, basicamente só será utilizado nas horas de preparação das refeições. Além disso, o consumo depende do modo de funcionamento do próprio micro-ondas, se é para cozer, aquecer, descongelar, etc. A Figura 4.2 apresenta o perfil de consumo de um micro-ondas na hora do almoço (entre as 12:00 PM e as 2:00PM) de um consumidor específico.

Analisando a figura, é possível identificar que o micro-ondas é utilizado oito vezes, essencialmente sempre no mesmo modo de funcionamento. A principal diferença na sua utilização é o intervalo de tempo em que é ligado. O perfil de consumo exemplificado para o micro-ondas somente apresenta um modo de funcionamento que será para aquecer. Em suma, o micro-ondas é uma carga que deve ser considerada para o sistema de gestão como uma carga imprevisível, de curta duração e que tem um grande impacto no conforto do

consumidor. Os fatores que influenciam o consumo do micro-ondas são o modo de funcionamento e o intervalo de tempo que o utilizador pretende quando liga o micro-ondas. Apesar da sua potência de consumo, o micro-ondas no final do dia não apresenta um consumo elevado de energia devido às poucas vezes em funcionamento.

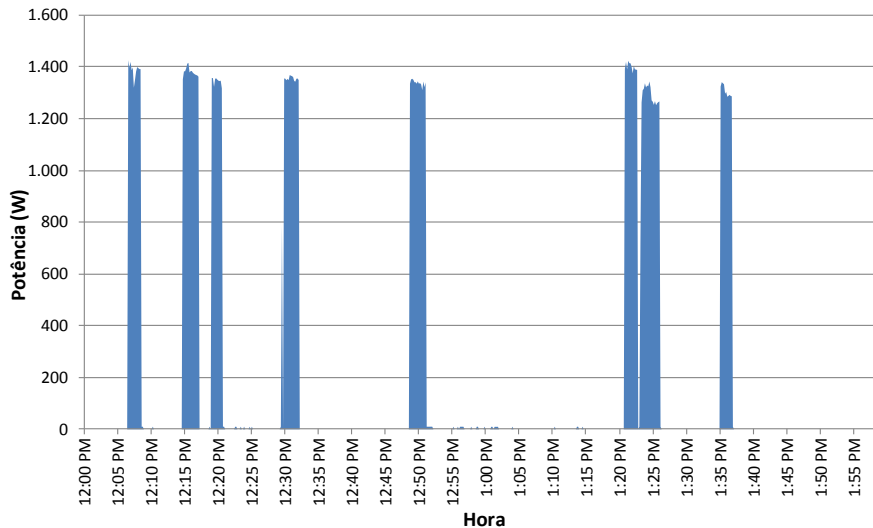


Figura 4.2 – Perfil de consumo de um micro-ondas na hora de almoço.

Contudo, o seu elevado consumo sempre que é ligado deve ser levado em conta nos sistemas de gestão de energia dos consumidores domésticos visto que provoca picos de consumo no consumo total da instalação.

4.2.1.3. Sistemas de climatização - AVAC

Os sistemas de aquecimento e arrefecimento podem ser assegurados por diversas tecnologias recorrendo a diferentes fontes primárias de energia. Em Portugal tem-se assistido a uma predominância na utilização de instalações alimentadas gás propano ou gás natural. Mais recentemente, aproveitando os incentivos criados, a utilização de sistemas solares térmicos e combinados (solar térmico e outros) representa uma importante cota de mercado. Adicionalmente, em algumas habitações são usados sistemas de ar condicionado e bombas de calor. Em edifícios habitacionais com alguma dimensão também são utilizados sistemas de AVAC e neste trabalho optou-se pela modelação desse tipo de sistema.

Os sistemas AVAC têm um funcionamento inconstante e normalmente não se encontram em funcionamento durante um dia completo. O seu perfil de consumo depende de vários fatores como a temperatura do local onde está (quarto, sala, etc.), a temperatura pretendida para o local, a temperatura exterior, entre outros. Este tipo de carga tem pelo menos dois modos de funcionamento dependendo da necessidade do utilizador, para aquecer e para refrigerar. A Figura 4.3 apresenta o perfil de consumo de um AVAC no modo de refrigeração entre as 11:00 PM e as 6:00 PM para um dia de verão. Nesta figura são

apresentadas também a temperatura da sala (interior, a vermelho), a temperatura ambiente (exterior, a verde) e a temperatura pretendida (roxo).

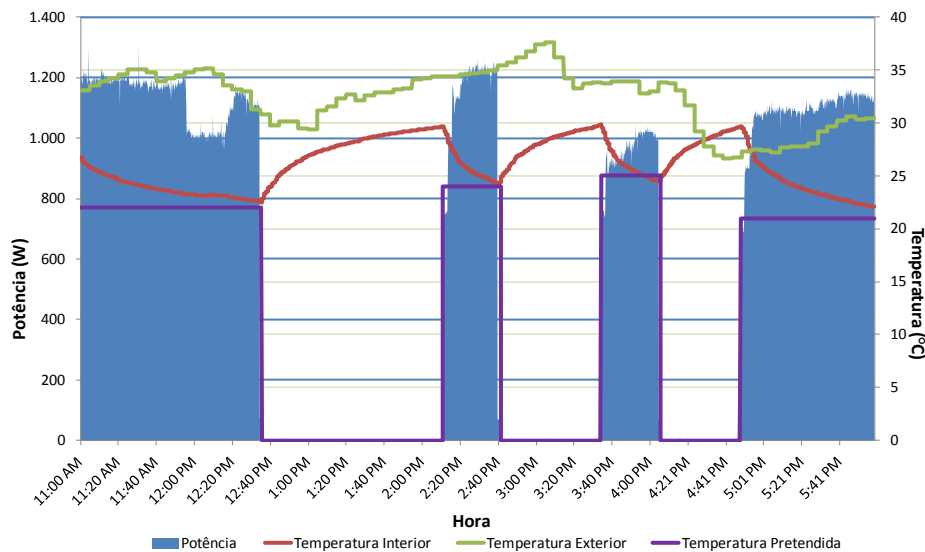


Figura 4.3 – Perfil de consumo de um AVAC entre as 11:00 PM e as 6:00 PM no modo de refrigeração.

Neste perfil de consumo, o sistema está em funcionamento no início das medições (11:00 AM) onde a temperatura interior é superior a 25°C, por volta dos 27°C, e a exterior por volta dos 34°C. A redução de temperatura é executada de forma progressiva, ficando inferior a 23°C muito próximo das 12:40 PM. Durante esse período a potência consumida pelo sistema situa-se entre os 1000 e os 1200 W. Nos períodos seguintes o sistema encontra-se em funcionamento durante menos tempo para atingir a temperatura pretendida visto que o utilizador mudou a temperatura pretendida para os 24°C (em vez dos 23°C). Verifica-se também que entre as 4:50 PM e as 5:50 PM o sistema está mais tempo ligado porque o utilizador diminuiu a temperatura pretendida para os 21°C.

Concluindo, o AVAC é uma carga que deve ser considerada como permanente. A sua gestão depende diretamente da temperatura pretendida pelo utilizador no interior da sala e também de outros fatores não menos importantes como a transferência de calor entre o interior e exterior, a exposição solar, etc. Esta é uma carga com um consumo considerável no consumo total do consumidor doméstico se for utilizada com grande regularidade.

4.2.1.4. Máquina de lavar roupa

A máquina de lavar roupa é uma carga que, normalmente, não tem utilização diária nos consumidores domésticos mas o seu consumo pode ser considerável quando utilizada, dependendo diretamente do modo de lavagem que o utilizador pretende. Um dos fatores que altera significativamente o consumo da máquina de lavar roupa é a lavagem com água fria ou água quente. A quantidade de roupa utilizada altera o consumo de potência durante

a lavagem, devido ao facto de as máquinas ajustarem o seu funcionamento em função do peso da roupa colocada no seu tambor. Assim o utilizador pode ativar uma lavagem para meia máquina (roupa a metade da capacidade máxima) ou uma lavagem para a máquina completa (na capacidade máxima). Outro modo que altera o consumo é a duração da lavagem, podendo ela ser curta ou longa, entre outras (Anexo C).

As Figura 4.4 e Figura 4.5 apresentam dois perfis de consumo de uma outra máquina de lavar roupa. Na Figura 4.4 apresenta-se um perfil de consumo de uma lavagem de curta duração e com água fria. Neste modo, a interferência no consumo total do consumidor doméstico não é tão significativo, mas pode provocar alguns picos no consumo.

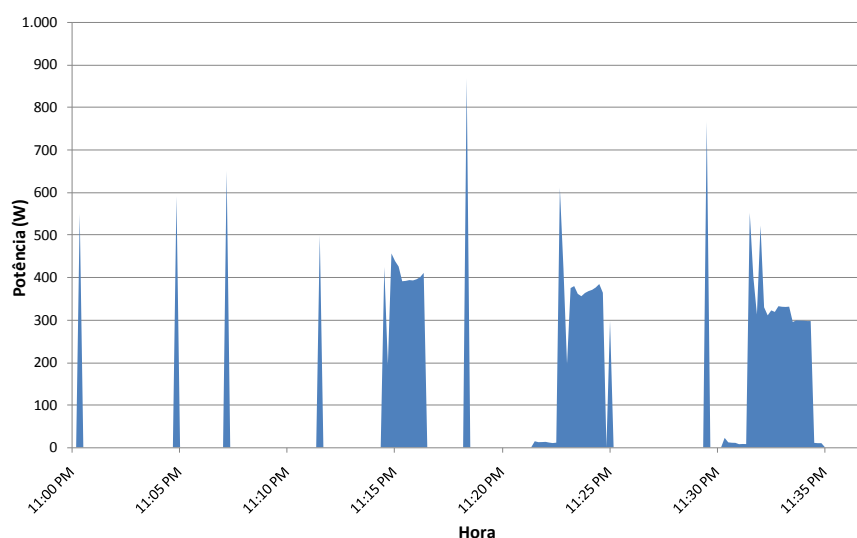


Figura 4.4 – Perfil de consumo da máquina de lavar B com lavagem curta a água fria.

A Figura 4.5 ilustra um perfil de consumo de uma lavagem de maior duração e com água quente. Neste caso, é perceptível uma maior influência no consumo total do consumidor doméstico.

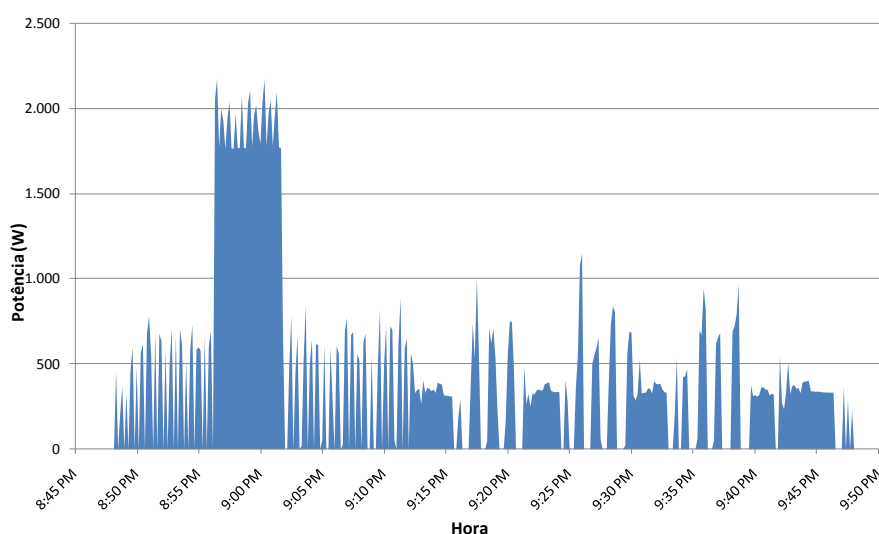


Figura 4.5 – Perfil de consumo da máquina de lavar B com lavagem longa a água quente.

Concluindo, a máquina de lavar roupa é uma carga que deve ser considerada como não prioritária no sistema de gestão de energia numa habitação. Este tipo de carga pode perfeitamente ser alocada a um estado de espera quando existe a necessidade de limitar a potência total de consumo da instalação ou quando o preço da energia elétrica é superior à média. A sua gestão depende diretamente do programa que o utilizador pretende utilizar, da temperatura da água que pretende, da quantidade da roupa que necessita lavar, do tipo de roupa que vai lavar, entre outros. Esta é uma carga, que quando ligada, pode ter consumo considerável no consumo total do consumidor doméstico, principalmente na parte inicial da lavagem. É importante o utilizador estar ciente das características de utilização da máquina de lavar roupa, para que ele próprio pratique uma gestão do consumo de energia.

4.2.2. Perfis de utilização dos consumidores

Os consumidores domésticos apresentam um perfil de consumo que depende diretamente do número de pessoas que habitam na casa, do número de divisões que o consumidor doméstico tem, da potência contratada, das cargas que utiliza, do período em que utiliza cada uma delas, entre diversos outros fatores. É importante verificar e analisar a influência que os diversos fatores têm no perfil de consumo total dos consumidores domésticos. Neste sentido, esta subsecção apresenta perfis de consumo de 4 consumidores domésticos (A, B, C e D), cujos dados estão armazenados na base de dados do Sistema SHIM. Com o intuito de dotar o sistema de dados reais, efetuou-se uma campanha de medição ao longo de vários dias em consumidores com diferentes características.

4.2.2.1. Consumidor A

O consumidor A apresenta as seguintes características que influenciam diretamente o perfil de consumo:

- Número de pessoas/agregado familiar: 3 pessoas (1 casal e um filho adulto);
- Potência contratada: 5,75 kVA monofásico;
- Número de divisões da casa: 3 quartos, 3 casas de banho, 1 sala de estar, 1 cozinha, 1 lavandaria, 1 hall de entrada e corredor;
- Cargas principais: 1 máquina de lavar/secar roupa, 1 máquina de lavar loiça, 1 placa elétrica, 1 forno elétrico, 1 frigorífico combinado, 1 micro-ondas, 1 exaustor, 1 aspirador, 1 secador de cabelo, 3 televisões, 1 LCD, 2 portáteis, 1 *router*, 2 aquecedores elétricos.

A Figura 4.6 apresenta o perfil de consumo do Consumidor A em quatro dias diferentes do mês de junho de 2011 (verão). Dos 4 dias apresentados, os 2 primeiros dias

são de fim de semana (sábado e domingo) e os outros 2 dias são dias da semana (segunda-feira e terça-feira).

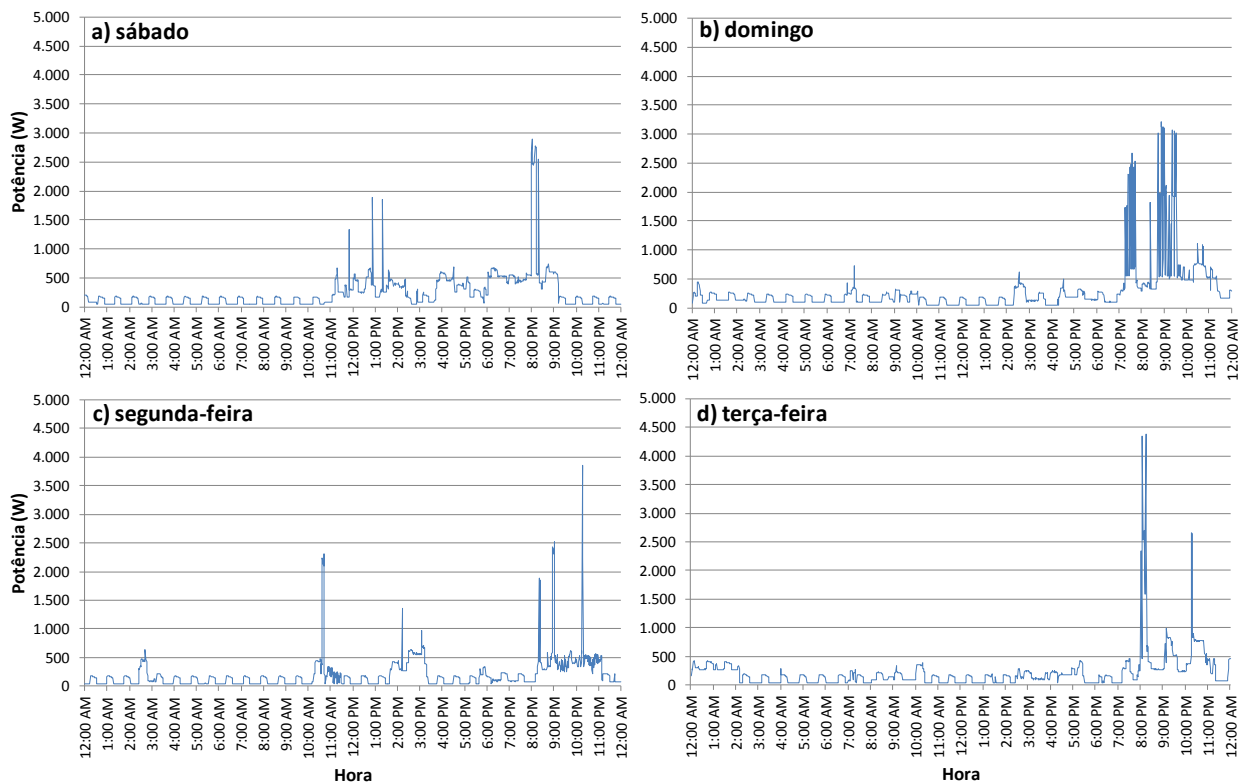


Figura 4.6 – Perfil de carga do consumidor A no dia 4 (a), 5 (b), 6 (c) e 7 (d) de junho de 2011.

Ao analisar os dias apresentados, o Consumidor A atinge maior pico de consumo nas horas de jantar, um valor que chega a ser muito próximo dos 4500 W na terça-feira. De salientar que o consumidor tem um perfil de consumo relativamente constante ao longo dos dias, visto que a carga que contribui mais para esse consumo é o frigorífico do consumidor. Esta carga, como já foi referido anteriormente, possui uma importância significativa no consumo, pois entra em funcionamento várias vezes ao longo do dia.

No consumidor A, os dias apresentados têm algumas semelhanças mas muitas diferenças, sendo muito difícil fazer comparação ou distinção entre os dias da semana e os dias de fim de semana. Neste sentido, o dia de sábado tem muitas semelhanças com o dia de segunda-feira, e o dia de domingo com o de terça-feira. As semelhanças entre os dias da semana encontram-se nas horas do final do dia onde se inclui o jantar. No restante dia de terça-feira, o consumo resume-se essencialmente ao frigorífico combinado, no entanto, no caso de segunda-feira existe aumento de consumo no período entre 10:00 AM e 11:00 AM e entre 2:00 PM e 3:00 PM. Excluindo esses períodos de segunda-feira, o resto do consumo é muito semelhante ao de terça-feira e também ao domingo.

4.2.2.2. Consumidor B

O consumidor apresentado tem as seguintes características que influenciam diretamente o perfil de consumo:

- Número de pessoas/agregado familiar: 3 pessoas (casal e filho adulto);
- Potência contratada: 6,9 kVA monofásico;
- Número de divisões da casa: 2 quartos, 1 sala de estar, 1 cozinha, 1 hall de entrada, 1 casa de banho, 1 marquise;
- Cargas principais: Máquina lavar roupa, forno elétrico, placa 2 discos gás (muito usados) e 2 discos elétricos (pouco usados), cilindro elétrico, micro-ondas, 1 máquina de chá, 1 máquina de café, 1 torradeira, 1 exaustor, 1 frigorífico, 1 secador, 3 televisões, iluminação, 1 portátil, 1 LCD e 1 box.

A Figura 4.7 apresenta o perfil de consumo do Consumidor B em quatro dias diferentes do mês de agosto de 2011 (verão). Dos 4 dias apresentados, os 2 primeiros dias são de fim de semana (sábado e domingo) e os outros 2 dias são dias da semana (segunda-feira e terça-feira).

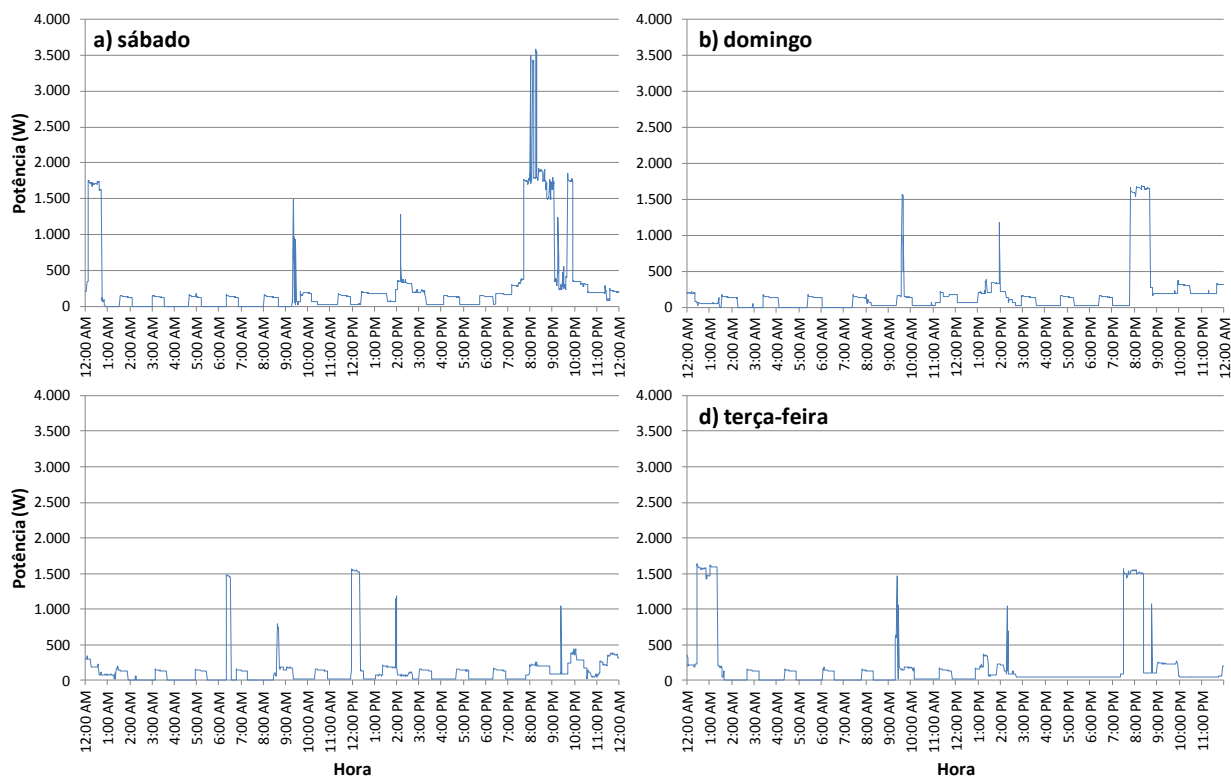


Figura 4.7 – Perfil de carga do consumidor B no dia 6 (a), 7 (b), 8 (c) e 9 (d) de agosto de 2011.

Ao analisar os dias apresentados, o Consumidor B atinge maior pico de consumo no sábado já depois das 7:00 PM, um valor muito próximo dos 3500 W. À parte deste pico excepcional de consumo, o maior consumo que atinge é sempre à volta dos 1500W. De

salientar que o consumidor tem um perfil de consumo muito constante ao longo dos dias, no qual a carga que contribui para esse consumo é o frigorífico que o consumidor possui. Esta carga, como já foi referido anteriormente, possui um impacto importante no consumo porque é ligada muitas vezes ao longo do dia. Contudo, no dia 9, terça-feira, entre as 3:00 PM e as 7:00 PM ocorreu um evento excepcional, que originou que o consumo esteja praticamente próximo de zero sem nenhuma alteração durante esse período. Uma justificação credível para o acontecimento deste evento reside na forte probabilidade de o frigorífico ser desligado por ordem do utilizador por razões de manutenção.

Excluindo o período entre as 12:00 AM e as 2:00 AM do dia 9, terça-feira, o perfil de consumo para este dia é muito semelhante ao perfil de consumo do dia 7, domingo. Em muitos trabalhos de análise e gestão dos consumos, os trabalhos desenvolvidos separam o perfil de consumo da semana e do fim de semana. Para este consumidor específico, existe uma grande semelhança entre um dia da semana e um dia de fim de semana, não fazendo muito sentido a divisão referida.

A fim de se obter uma melhor análise dos eventos de consumo deste consumidor, propõe-se uma comparação e divisão de dias individuais, segunda-feira com segunda-feira, sábado com sábado, etc. No entanto a amostra deverá ser alargada a um conjunto significativo de consumidores e a um número superior de dias de forma a fundamentar melhor esta conclusão.

4.2.2.3. Consumidor C

O consumidor apresentado tem as seguintes características que influenciam diretamente o perfil de consumo:

- Número de pessoas: 2 pessoas (estudantes)
- Potência contratada: 6,9 kVA monofásico
- Número de divisões da casa: 1 casa de banho, 1 cozinha, 1 sala e 2 quartos;
- Cargas principais: 1 cilindro elétrico, 1 máquina de lavar roupa, 1 fogão com 4 discos ferroelétricos, 1 forno elétrico, 1 frigorífico, 1 micro-ondas, 1 chaleira, 1 aspirador, 1 exaustor, 2 televisões, 2 portáteis, 1 monitor.

A Figura 4.8 apresenta o perfil de consumo do Consumidor C em quatro dias diferentes no final do mês de setembro e no início do mês de outubro de 2011 (outono). Dos 4 dias apresentados, os 2 primeiros dias são dias da semana no final de setembro (quinta-feira e sexta-feira) e os outros 2 dias são dias de fim de semana no início de outubro (sábado e domingo).

Uma análise cuidada aos dias medidos pode-se verificar que o Consumidor C atinge maior pico de consumo na quinta-feira, por volta das 8:00 AM com um valor muito próximo dos 3500 W. Na generalidade, os picos de consumo deste consumidor doméstico rondam

Gestão Inteligente de uma Habitação considerando o Controlo de Cargas, de Microgeração e Veículos Elétricos em Função do seu Perfil de Utilização

sempre valores iguais ou superiores a 1500 W. O consumidor evidência um perfil de consumo constante ao longo dos dias. Este perfil é fortemente influenciado pelo funcionamento constante de cargas como o frigorífico.

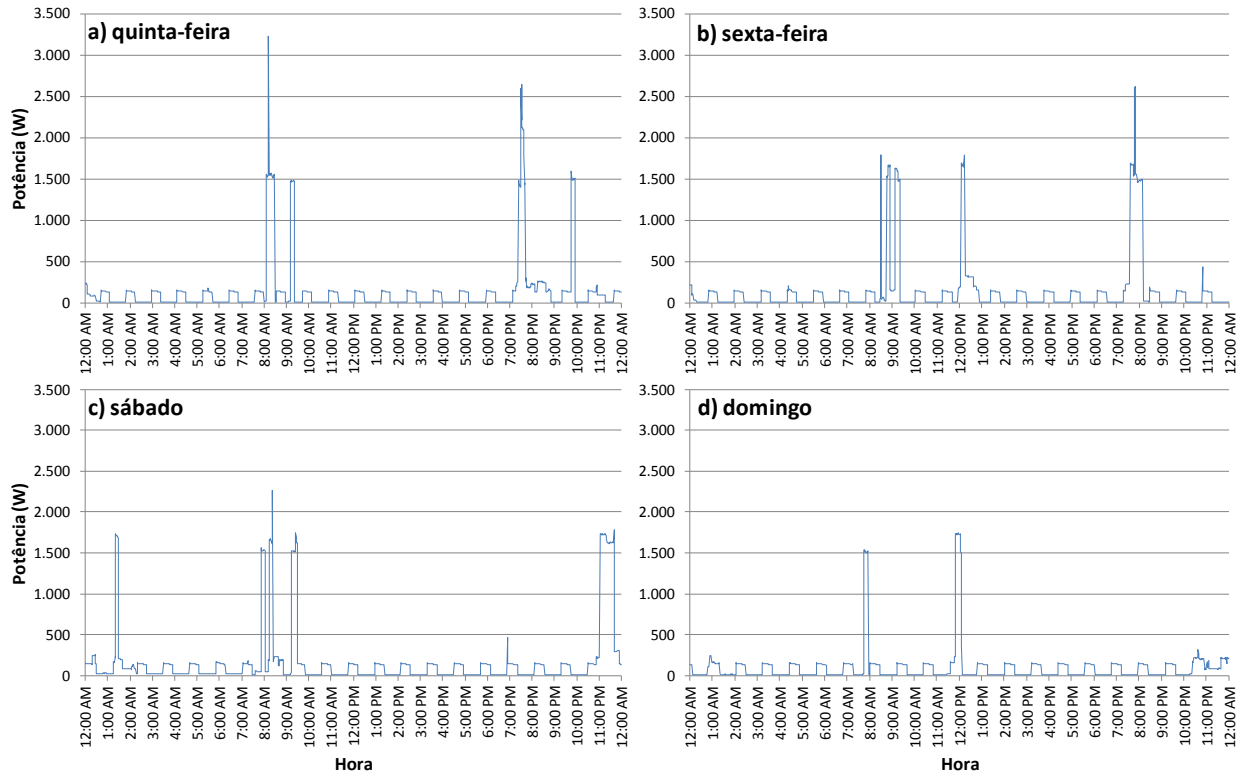


Figura 4.8 – Perfil de carga do consumidor C no dia 29 (a) e 30 (b) de setembro e 1 (c) e 2 (d) de outubro de 2011.

O perfil de consumo deste consumidor nos dias de semana é muito semelhante. Assim, verifica-se maior consumo entre as 8:00 AM e as 10:00 AM, quando os utilizadores acordam e utilizam o cilindro elétrico para aquecer a água do banho, e entre as 7:00 PM e as 10:00 PM quando os utilizadores voltam a casa para jantar e utilizam o fogão elétrico. O dia de sexta-feira apresenta uma diferença em relação ao outro dia da semana. A hora de almoço tem maior consumo o que leva a concluir que algum dos utilizadores regressou a casa para almoçar. O dia que apresenta menor consumo é o dia 2, domingo, onde provavelmente, os utilizadores passam pouco tempo em casa, verificando um aumento de consumo por instantes por volta das 8:00 AM e 12:00 PM. Perante o perfil do consumidor verificado, a potência contratada de 3,45 kVA daria perfeitamente.

4.2.2.4. Consumidor D

O consumidor apresentado tem as seguintes características que influenciam diretamente o perfil de consumo:

- Número de pessoas/agregado familiar: 3 pessoas (casal e filho adulto);
- Potência contratada: 3,45 kVA monofásico

- Número de divisões da casa: 1 garagem, 1 jardim, 3 quartos, 2 casas de banho, 1 sala de estar/jantar, 1 cozinha, 1 lavandaria, 1 sala de arrumos, 1 hall de entrada e corredor;
- Cargas principais: 1 máquina de lavar à pressão, 1 máquina de lavar roupa, 1 aquecedor elétrico, 1 aspirador, 1 micro-ondas, 1 chaleira, 1 exaustor, 1 fritadeira elétrica, 2 frigoríficos combinados, 1 arca congeladora, 1 secador, 2 televisões convencionais, 1 LCD, 1 box (TV cabo), 1 portátil.

A Figura 4.9 apresenta o perfil de consumo do Consumidor D em quatro dias diferentes do mês de junho de 2012 (verão). Dos 4 dias apresentados, os 2 primeiros dias são de fim de semana (sábado e domingo) e os outros 2 dias são dias da semana (segunda-feira e terça-feira).

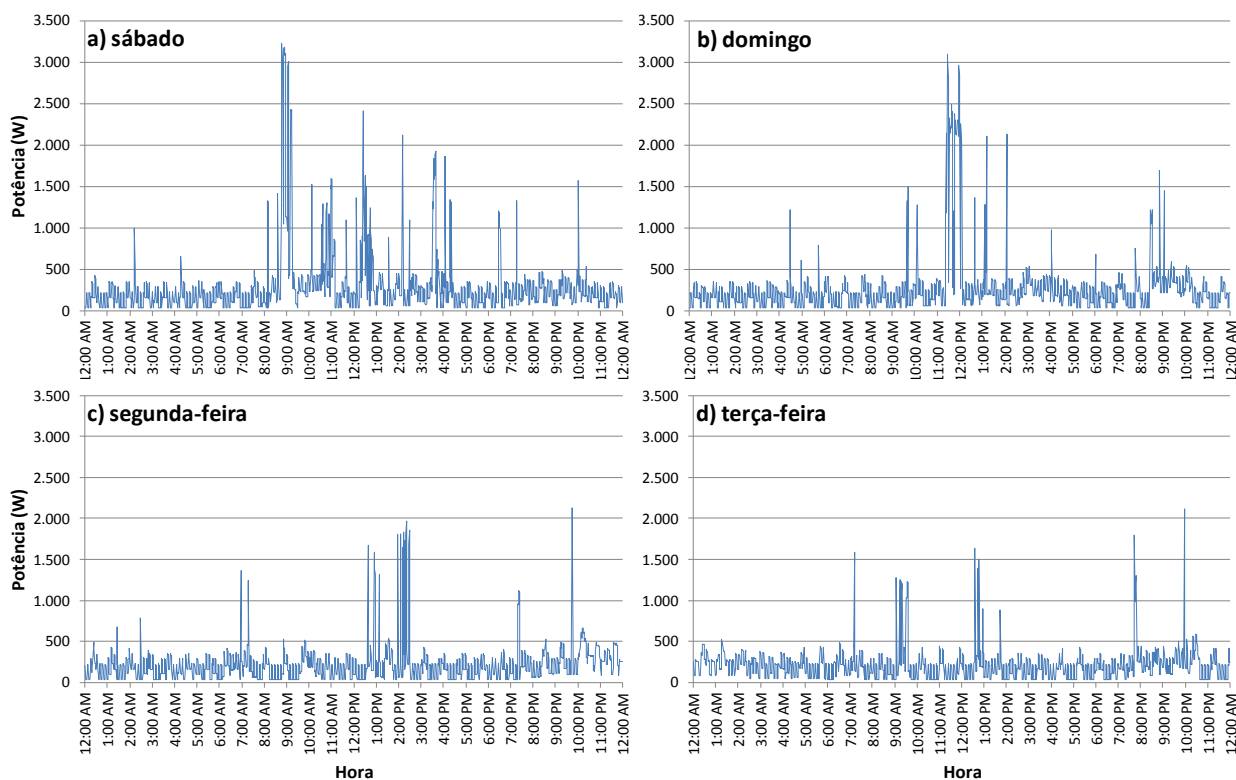


Figura 4.9 – Perfil de carga do consumidor D no dia 2 (a), 3 (b), 4 (c) e 5 (d) de junho de 2012.

Ao analisar os dias apresentados, o Consumidor D atingiu, no horário de verão, o maior pico de consumo no sábado, entre 8:00 AM e 10:00 AM, e no domingo, entre 11:00 AM e 12:00 PM, valores estes, por vezes, superiores a 3000 W. Para este consumidor, o perfil de consumo não apresenta um perfil tão perfeito nas horas de menor consumo, como apresentado nos anteriores consumidores. Isto deve-se ao maior número de cargas do tipo de refrigeração, que para este caso são 2 frigoríficos e 1 arca congeladora. Estas cargas têm um perfil de funcionamento constante ao longo do dia. Contudo, o funcionamento de cada carga não tem relação direta umas com as outras, pois não ligam e desligam simultaneamente. Assim, o perfil de consumo do consumidor é irregular não se podendo

Gestão Inteligente de uma Habitação considerando o Controlo de Cargas, de Microgeração e Veículos Elétricos em Função do seu Perfil de Utilização

concluir alguma correlação entre as cargas. Deste modo, os picos que acontecem na manhã de sábado são devido ao funcionamento da máquina de lavar roupa e no meio-dia de domingo devido à utilização da fritadeira elétrica. Nos dias da semana, os perfis apresentados são semelhantes, com alguns picos de consumo distintos no tempo. Assim, às 2:00 PM de segunda-feira existe um pico de consumo que não existe na terça-feira. Na hora do almoço, entre as 12:00 PM e as 1:00 PM, os picos verificados são devidos à utilização do micro-ondas nos dois dias.

A Figura 4.10 apresenta o perfil de consumo do Consumidor D em quatro dias diferentes do mês de janeiro de 2013 (inverno). Dos 4 dias apresentados, os 2 primeiros dias são de fim de semana (sábado e domingo) e os outros 2 dias são dias da semana (segunda-feira e terça-feira).

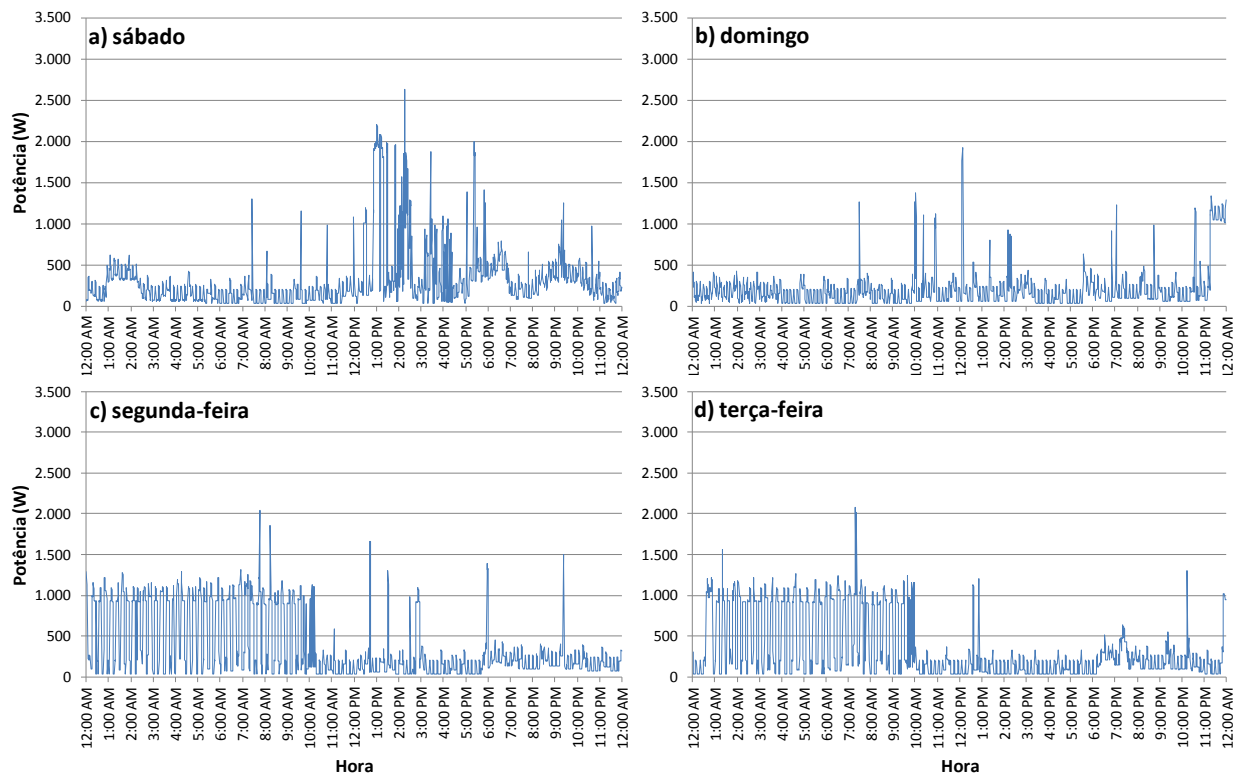


Figura 4.10 – Perfil de carga do consumidor D no dia 5 (a), 6 (b), 7 (c) e 8 (d) de janeiro de 2013.

Ao analisar os dias apresentados, o consumidor D atingiu, no horário de inverno, o maior pico de consumo no sábado, entre 12:00 PM e 3:00 PM, com valores estes, por vezes, superiores a 2000 W. Nos dias da semana, os perfis apresentados são semelhantes, com alguns picos de consumo distintos no tempo. A grande semelhança destes dois dias verifica-se entre 12:00 AM e 10:00 AM devido à utilização do aquecedor elétrico para aquecimento. O consumo do aquecedor elétrico também aparece no final do dia de domingo visto que foi ligado já depois das 11:00 PM desse dia. O dia de sábado apresenta maior consumo durante a tarde do que qualquer um dos outros dias apresentados, sendo que os

dias da semana apresentam maior consumo durante as madrugadas devido ao aquecimento que não é utilizado durante os fins-de-semana. O domingo é o dia que tem menor consumo dos 4 dias apresentados.

A grande diferença apresentada nos perfis de consumo para o horário de verão e de inverno do Consumidor D prende-se com a utilização do aquecimento durante as madrugadas dos dias de inverno. As restantes cargas são semelhantes para as duas estações dependendo do momento em que o utilizador necessita de ligar esta ou aquela carga. Deste modo, existe semelhança, por exemplo, com as horas de almoço e de jantar.

4.2.3. Perfis de utilização de microgeração

Os consumidores domésticos têm diversos incentivos para a instalação de tecnologias de microprodução na sua instalação elétrica. De entre as diferentes tecnologias existentes, a produção fotovoltaica tem sido a de maior sucesso no âmbito das instalações domésticas, principalmente em países como a Alemanha, Itália ou Portugal. Em menor escala surge a instalação de sistemas eólicos e de cogeração, estes últimos principalmente em países com maior necessidade de aquecimento. Destes recursos, é possível referir que a produção das unidades fotovoltaicas e eólicas dependem de recursos naturais e por isso são intermitentes e de difícil previsão. Já a produção proveniente das unidades de cogeração estão diretamente dependentes das necessidades térmicas da habitação e por isso muito mais constantes e de fácil previsão. É por isso importante verificar e analisar a influência que os recursos de produção têm na gestão de energia do consumidor doméstico. Neste sentido, esta secção apresenta os perfis de produção dos recursos renováveis existentes no GECAD, a produção fotovoltaica e eólica, bem como os dados que o sistema de gestão SHIM guarda na sua base de dados.

4.2.3.1. Produção fotovoltaica

O sistema de produção fotovoltaica apresentado está instalado no telhado do edifício F do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Este sistema está ligado à rede e tem a capacidade de seguir o sol aumentando assim o seu rendimento contendo as seguintes características:

- Número de painéis solar: 2
- Potência nominal de produção: 400 W (200 W cada)
- Sistema utilizado: com seguidor solar

A Figura 4.11 apresenta um perfil de produção do sistema fotovoltaico para os dias 1 e 2 de agosto de 2012. Um perfil de produção para o verão em Portugal sendo que o dia 2 de agosto é claramente o dia com maior produção.

Ao analisar o perfil de verão apresentado é evidente o maior tempo de produção durante um dia pois os dias são mais longos. Neste caso é claro que o sistema começa a funcionar aproximadamente às 7:00 AM até às 9:00 PM, um intervalo de tempo de produção de 14 horas aproximadamente. Os dois dias apresentados acabam por ser distintos, pois o dia 2 de agosto tem maior energia produzida sendo que o pico de produção é entre as 2:00 PM e as 5:00 PM com um pico aproximado dos 300 W. No caso do dia 1 de agosto, o pico de produção acontece entre as 12:00 PM e as 1:00 PM com um valor de pico superior a 250 W.

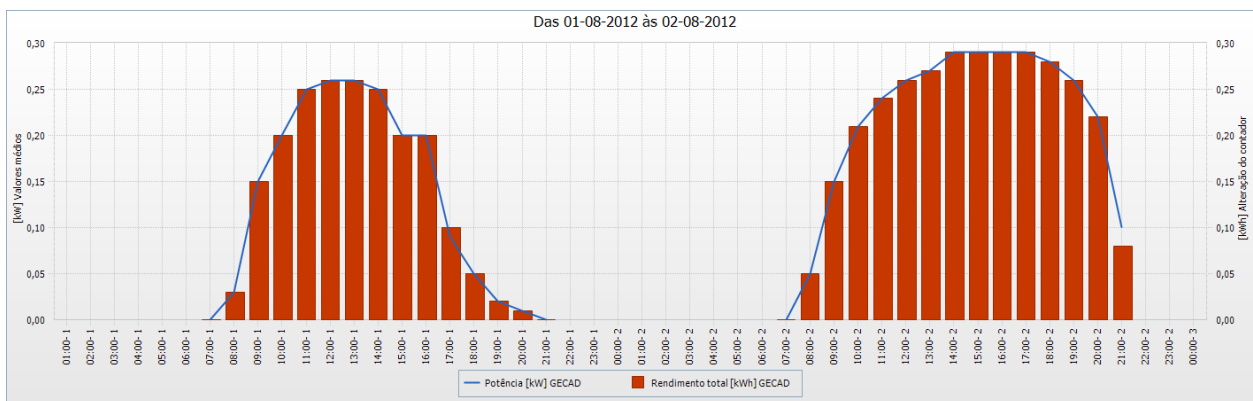


Figura 4.11 – Perfil de produção do sistema solar do GECAD no dia 1 e 2 de agosto de 2012.

A Figura 4.12 apresenta um perfil de produção do sistema fotovoltaico para os dias 2 e 3 de dezembro de 2012. Um perfil de produção para o inverno em Portugal sendo que o dia 3 de dezembro é claramente um dia bastante nublado apresentando uma produção bastante baixa.

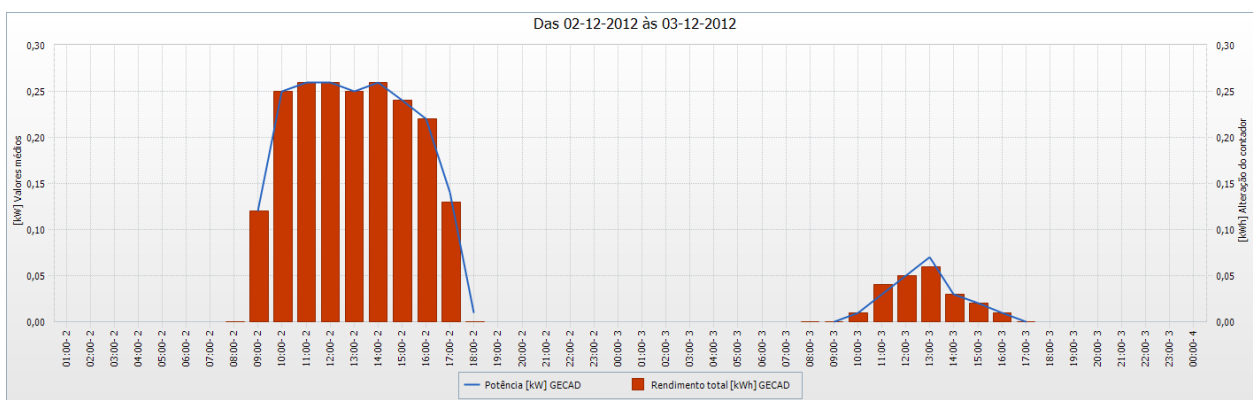


Figura 4.12 – Perfil de produção do sistema solar do GECAD no dia 2 e 3 de dezembro de 2012.

Ao analisar o perfil de inverno apresentado é evidente o menor tempo de produção durante um dia, pois os dias são mais curtos. Neste caso, nos dois dias apresentados, é evidente que o sistema começa a funcionar aproximadamente às 8:00 AM até às 5:00 PM, um intervalo de tempo de produção de 9 horas aproximadamente. Os dois dias apresentados são distintos, visto que o dia 3 de dezembro foi um dia com muitas nuvens e por isso uma produção bastante baixa tendo um pico de aproximadamente 50 W à 1:00 PM.

No caso do dia 2 de dezembro, já representa um dia de inverno com sol e valores de produção relativamente constantes, muito próximo dos 250 W entre as 10:00 AM e as 2:00 PM. Dos quatro dias apresentados, dois de inverno e dois de verão, é facilmente perceptível a importância de uma boa previsão de forma a ser possível efetuar uma gestão adequada principalmente considerando que os sistemas instalados nas habitações têm uma potência instalada cerca de 10 vezes superiores ao sistema instalado no LASIE.

4.2.3.2. Produção eólica

O sistema de produção eólica apresentado está instalado no telhado do edifício F do ISEP. Este sistema está ligado de forma isolada permitindo o carregamento das baterias do LASIE que por sua vez permitem alimentar cargas. Deste modo, a produção eólica está dependente do estado das baterias o que em diversos contextos, apesar da disponibilidade de vento, o gerador eólico pode não produzir caso as baterias estejam na capacidade máxima. Este sistema eólico isolado tem as seguintes características apresentadas:

- Número de geradores: 1
- Potência nominal de produção: 1000 W aos 11,6 m/s
- Vento para início da produção: 3,4 m/s
- Produção esperada aos 5,4 m/s: 200 kWh/mês

A Figura 4.13 apresenta um perfil de produção do sistema eólico isolado para os dias 9 e 10 de janeiro de 2013. Nestes dias é evidente o vento fraco verificado e consequentemente a produção muito baixa.

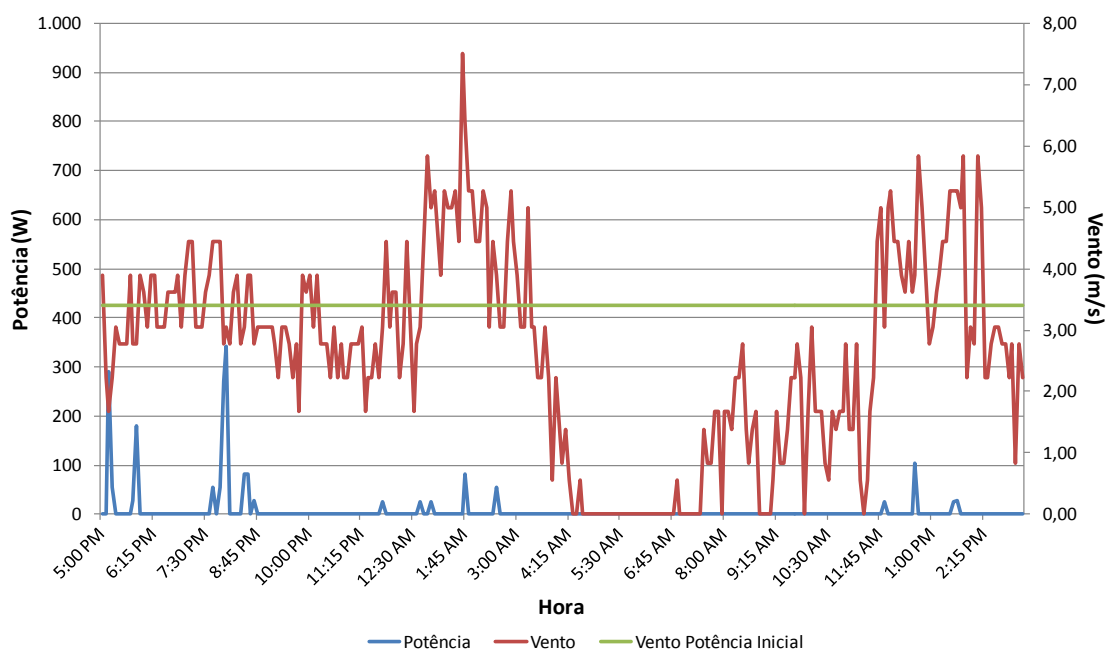


Figura 4.13 – Perfil de produção do sistema eólico isolado nos dias 9 e 10 de janeiro de 2013.

A Figura 4.14 apresenta o perfil de produção do sistema eólico isolado para os dias 16, 17 e 18 de janeiro de 2013. Com o maior vento verificado é evidente a maior produção de energia em comparação com a figura anterior. Contudo, a produção verificada está sempre condicionada pelo estado da bateria mesmo que exista disponibilidade do vento.

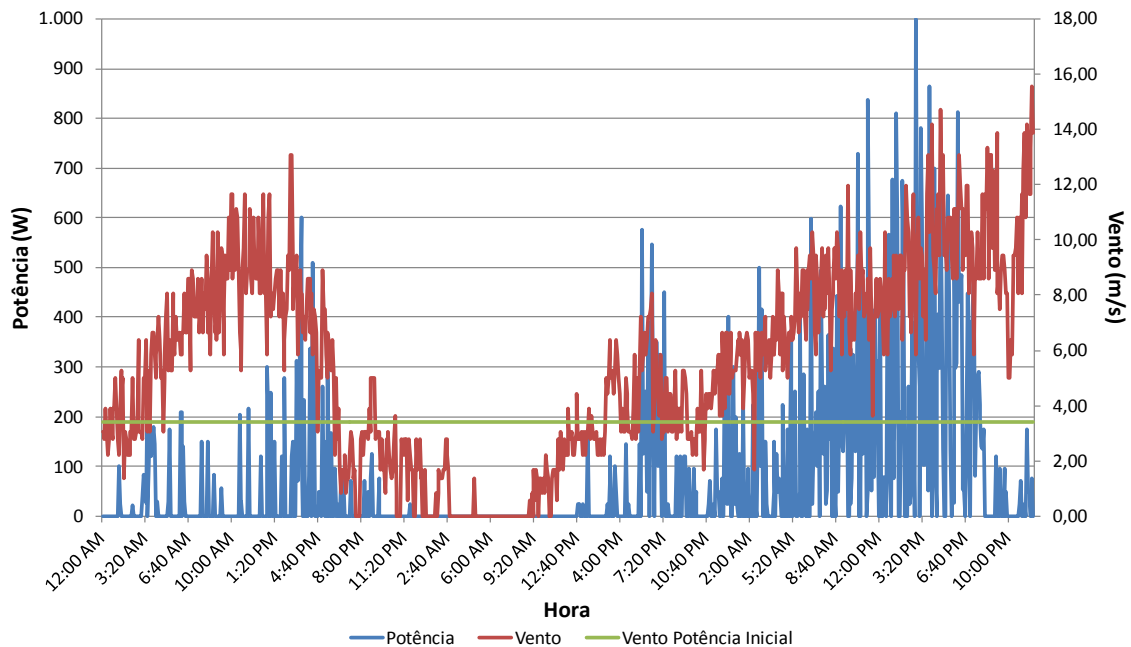


Figura 4.14 – Perfil de produção do sistema eólico isolado nos dias 16, 17 e 18 de janeiro de 2013.

Ao analisar o perfil de produção da eólica apresentada é evidente que apesar de existir vento disponível nem sempre o gerador produz energia como já justificado anteriormente. Neste sentido, nas primeiras horas do perfil, o vento está quase sempre superior ao limite mínimo para a produção mas, mesmo assim, a produção não acompanha a disponibilidade do vento. Além disso, é possível verificar que o gerador não está em produção quando o vento está inferior ao limite mínimo para a produção, por exemplo, na segunda madrugada do perfil (entre as 12:00 AM e as 6:00 AM).

4.3. Caso de estudo 1 – Gestão de cargas

Neste caso de estudo, o Sistema SHIM é aplicado para um consumidor doméstico que considera somente a gestão inteligente das cargas. O escalonamento ótimo dos recursos de energia, neste caso para 18 cargas, é resolvido pela metodologia apresentada na Secção 3.3. Desenvolveram-se um cenário com três etapas (1A, 1B, 1C) com o intuito de analisar os resultados do escalonamento para diferentes condições iniciais das cargas [Fernandes, *et al.*-2011].

Na Etapa 1A todas as cargas estão inicialmente ligadas e devem ser geridas de acordo com um limite de potência definido. Posteriormente à otimização da Etapa 1A, o utilizador decide ligar algumas cargas, definindo assim as condições iniciais para a Etapa

1B, sendo que a gestão das cargas é realizada novamente. A Etapa 1C diz respeito a uma situação para a qual o utilizador decide ligar novamente algumas cargas que foram desligadas pela gestão da carga realizada na Etapa 1B.

4.3.1. Caracterização das etapas do cenário

As tabelas seguintes mostram os dados necessários para a caracterização das respetivas etapas. No caso da Tabela 4.2 são apresentados o limite de potência máxima e mínima e a prioridade para cada carga⁵. Por outro lado, a Tabela 4.3 informa sobre o contexto das etapas apresentando a hora, o dia, a estação do ano, a temperatura exterior e o limite de potência (*SetPoint*) para as três etapas consideradas.

Tabela 4.2 – Dados iniciais para as 3 etapas.

Carga	Controlo	SHIM ID	Etapa 1A - 1B - 1C		
			λ_{Carga}	P^{Min} (W)	P^{Max} (W)
Motor de Indução 1	Variável	V ₁	0,25	10	90
Motor de Indução 2	Variável	V ₂	0,6	20	200
Motor de Indução 3	Variável	V ₃	0,25	30	300
Lâmpada Fluorescente	Variável	V ₄	1	5	18
Lâmpada Incandescente 1	Discreta	F ₁	0,5	0	30
Lâmpada Incandescente 2	Discreta	F ₂	0,5	0	30
Acumulador de calor 1	Discreta	F ₃	1	0	1600
Acumulador de calor 2	Discreta	F ₄	1	0	1000
Lâmpada Halogéneo	Discreta	F ₅	0,4	0	500
Exaustor	Discreta	F ₆	1	0	138
Frigorífico 1	Discreta	F ₇	0,3	0	300
Máquina de Lavar Roupa	Discreta	F ₈	0	0	550
Televisão 1	Discreta	F ₉	0,5	0	138
Frigorífico 2	Discreta	F ₁₀	0,8	0	300
Micro-ondas	Discreta	F ₁₁	1	0	550
Televisão 2	Discreta	F ₁₂	0,8	0	138
Chaleira	Discreta	F ₁₃	0,6	0	300
Máquina de Lavar Loiça	Discreta	F ₁₄	1	0	550
Carga total	-	Total	-	65 W	6732 W

Tabela 4.3 – Consideração do contexto para as 3 etapas.

Contexto	Etapa 1A - 1B - 1C
Hora (h)	12:00
Dia	segunda-feira
Estação do ano	verão
Temperatura (°C)	25
Limite de Potência (W)	1000

⁵ As prioridades variam entre 0 e 1. Sendo que as cargas classificadas com 1 são as que têm menor prioridade. Esta classificação resulta de a função objetivo tentar minimizar a equação (3.1), pelo que mantém em funcionamento as cargas com menor peso (para o caso o menor peso é 0).

O limite inicial de consumo total de potência é de 6,9 kW que corresponde à potência contratada do consumidor doméstico. Depois do disparo de um evento de DR, o limite de potência para o consumo (*SetPoint*) passa para 1,0 kW. O limite inicial de consumo total de potência é de 6,9 kW que corresponde à potência contratada do consumidor doméstico. Depois do disparo de um evento de DR, o limite de potência para o consumo (*SetPoint*) passa para 1,0 kW.

4.3.2. Resultados da otimização – Etapa 1A

A Tabela 4.4 apresenta os resultados para a Etapa 1A onde existe duas potências consideradas, a potência escalonada e a potência medida. A primeira é obtida diretamente do MATLAB com base na otimização resultante da abordagem MINLP. A segunda é obtida através dos equipamentos de medição do SHIM e que são visualizados no interface.

No caso das cargas com controlo variável (e.g. motor de indução 1) os valores apresentam ligeiras diferenças pois essas cargas possuem um consumo não linear dificultando o controlo com precisão através da interface do Sistema SHIM. As cargas que ficaram ligadas após o escalonamento estão representadas pela cor verde na tabela.

Tabela 4.4 – Resultados da otimização na Etapa 1A.

Cargas (SHIM ID)	Etapa 1A		
	P _{Antes} (W)	Escalonamento	Medido
		P _{MINLP} (W)	P _{MINLP} (W)
V ₁	90	90	88
V ₂	200	0	0
V ₃	300	110	111
V ₄	18	0	0
F ₁	30	0	0
F ₂	30	0	0
F ₃	1600	0	0
F ₄	1000	0	0
F ₅	500	500	500
F ₆	138	0	0
F ₇	300	300	300
F ₈	550	0	0
F ₉	138	0	0
F ₁₀	300	0	0
F ₁₁	550	0	0
F ₁₂	138	0	0
F ₁₃	300	0	0
F ₁₄	550	0	0
Total	6732	1000	999

Os resultados apresentados para a Etapa 1A indicam que o SHIM obteve um escalonamento adequado das cargas mais prioritárias para o consumidor doméstico de modo a garantir o limite de potência para o consumo de 1,0 kW. Sendo que o consumo

inicial estava na capacidade máxima, o SHIM teve de cortar a maior parte das cargas para cumprir o evento DR. E neste caso, com um limite de consumo tão baixo, as cargas com maior consumo do que o próprio limite serão as primeiras a serem desligadas mesmo que tenham mais prioridade que outras cargas que se mantêm ligadas.

4.3.3. Resultados da otimização – Etapa 1B

A Etapa 1B tem por base o resultado obtido na otimização realizada para a Etapa 1A considerando algumas alterações realizadas pelo utilizador do sistema. Neste caso, uma nova otimização é ativada porque o consumo total ultrapassa o limite pretendido devido à ação do utilizador. O utilizador decidiu ligar a televisão 1 (F9 - 138 W) e a máquina de lavar loiça (F14 - 550W), representadas pela cor verde na tabela.

A Tabela 4.5 mostra os resultados obtidos na otimização após a interação do utilizador. De acordo com os resultados apresentados foi possível manter ligadas as cargas ativadas pelo utilizador, respeitando o limite de potência imposta. Para isso o SHIM teve de reduzir o consumo do motor de indução 1 (V1), e desligar o motor de indução 3 (V3) e a lâmpada de halogéneo (F5), representadas pela cor azul na tabela.

Tabela 4.5 – Resultados da otimização na Etapa 1B.

Cargas	Etapa 1B		
	P _{Antes} (W)	Escalonamento P _{MINLP} (W)	Medido P _{MINLP} (W)
V ₁	88	12	40
V ₂	0	0	0
V ₃	111	0	0
V ₄	0	0	0
F ₁	0	0	0
F ₂	0	0	0
F ₃	0	0	0
F ₄	0	0	0
F ₅	500	0	0
F ₆	0	0	0
F ₇	300	300	300
F ₈	0	0	0
F ₉	138	138	138
F ₁₀	0	0	0
F ₁₁	0	0	0
F ₁₂	0	0	0
F ₁₃	0	0	0
F ₁₄	550	550	550
Total	1687	1000	1028

Os resultados apresentados para a Etapa 1B indicam que o SHIM obteve bons resultados após a ação do utilizador. As cargas posteriormente ligadas pelo utilizador tiveram uma alteração nos valores das prioridades, passando estas a serem mais prioritárias em comparação com os valores utilizados na otimização inicial.

4.3.4. Resultados da otimização – Etapa 1C

A Etapa 1C caracteriza-se pela alteração do estado de algumas cargas relativas à otimização efetuada pelo SHIM na Etapa 1B. Uma das cargas que foi desligada na Etapa 1B foi a lâmpada de halogéneo (F5). Na Etapa 1C, o utilizador tornou a ligar essa carga, representadas pela cor verde na tabela, sendo que um novo processo de otimização foi ativado considerando a ação do utilizador. A Tabela 4.6 mostra os resultados obtidos pela otimização e os valores de potência medidos na interface.

Tabela 4.6 – Resultados da otimização na Etapa 1C.

Cargas	Etapa 1C		
	P _{Antes} (W)	Escalonamento	Medido
		P _{MINLP} (W)	P _{MINLP} (W)
V ₁	40	0	0
V ₂	0	0	0
V ₃	0	0	0
V ₄	0	0	0
F ₁	0	0	0
F ₂	0	0	0
F ₃	0	0	0
F ₄	0	0	0
F ₅	500	500	500
F ₆	0	0	0
F ₇	300	0	0
F ₈	0	0	0
F ₉	138	138	138
F ₁₀	0	0	0
F ₁₁	0	0	0
F ₁₂	0	0	0
F ₁₃	0	0	0
F ₁₄	550	550	550
Total	1528	1188	1188

Os resultados mostram que é possível manter as cargas que são posteriormente ligadas pelo utilizador, mas para esta etapa, o limite de potência é ultrapassado, resultando em um consumo maior que 1000 W. Isto pode ser considerado aceitável porque resulta diretamente da decisão do consumidor. Nesta situação, o valor de potência de consumo em excesso é considerado nas variáveis de regulação da equação de otimização (3.1) e o SHIM informa o utilizador que não consegue cumprir o limite de potência e das consequências que o utilizador irá ter com a decisão de optar por um consumo superior ao limite do evento DR.

4.3.5. Análise dos resultados do caso de estudo 1

A metodologia proposta foi validada usando para isso as três etapas apresentadas. A eficácia da abordagem proposta é demonstrada através de um *testbed* de laboratório que simula um consumidor doméstico com cargas reais e simuladas através do Sistema SHIM

do consumidor doméstico. As condições iniciais consideram que o limite de consumo de energia é igual à potência contratada, para este consumidor doméstico, 6,9 kW. Contudo, às 12:00 PM de um dia de verão, a informação recebida pelo consumidor doméstico indica que o preço de energia subiu significativamente e o limite de consumo deixou de ser a potência contratada e passou a ser de 1,0 kW. Na etapa inicial todas as cargas estavam ligadas, mas depois da atualização do limite de consumo (*SetPoint*) apenas 5 cargas se mantiveram ligadas após o processo de otimização na Etapa 1A.

Posteriormente ao processo de otimização para a Etapa 1A, o utilizador tornou a ligar as cargas F9 e F14 (novo estado para a Etapa 1B). Neste caso, o algoritmo não considera essas cargas que foram novamente ligadas no processo de otimização e executa a otimização com as outras cargas que estavam ligadas. Para a Etapa 1B foi possível garantir o limite de potência 1,0 kW (*SetPoint*). Na Etapa 1C, o utilizador liga novamente a carga F5 e no processo de otimização não é possível garantir o limite de potência imposto pelo *SetPoint* devido ao consumo das cargas que foram forçadas a ligar pelo utilizador ser superior ao próprio *SetPoint*.

Um dos resultados mais importante reside na interação do utilizador com o sistema de gestão (por exemplo para a Etapa 1B e 1C, ligar cargas que foram desligadas pelo SHIM). Esta interação é automaticamente tida em consideração pelo SHIM, originando novas soluções de gestão de energia respeitando as preferências que os utilizadores mostram através do próprio comportamento.

4.4. Caso de estudo 2 – Gestão de cargas e veículos elétricos

A aplicação do Sistema SHIM a diferentes tipos de consumidores finais (doméstico, comercial e industrial) com o intuito de avaliar a eficácia do SHIM na gestão de instalações com cargas e veículos elétricos é apresentado neste caso de estudo. Adicionalmente, este caso de estudo permite avaliar o desempenho do SHIM na gestão de instalações com características diferentes de uma habitação, nomeadamente de uma instalação comercial e de uma instalação industrial, ambas de pequenas dimensões. O escalonamento ótimo dos recursos de energia é efetuado usando a metodologia apresentada na Secção 3.4. Alguns cenários foram simulados de modo a analisar os resultados do escalonamento para cada tipo de consumidor em diferentes períodos do dia [Fernandes, *et al.*-2012a].

Todos os consumidores considerados neste caso de estudo têm uma base de dados que contem as prioridades das cargas, a mínima e máxima potência de consumo de cada carga, a mínima e máxima potência de carga e descarga de cada veículo. Estes dados dependem diretamente do contexto do dia. O módulo de gestão dos recursos de energia do SHIM analisa os vários dados e executa o escalonamento ótimo dos recursos de acordo com as prioridades dos recursos para o respetivo contexto do dia.

O presente caso de estudo considera uma segunda-feira de inverno, com uma temperatura externa de 10°C. Às 9:00 AM e 8:00 PM os três consumidores recebem o evento DR simulado, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 4.7.

4.4.1. Consumidores finais considerando os V2Gs

Cada instalação consumidora tem as suas próprias cargas. Por seu lado, os V2Gs são recursos comuns para os três consumidores considerados no SHIM (Figura 4.15), isto é, estes recursos têm diferentes pontos de conexão em diferentes períodos do dia, visto que os V2Gs viajam entre eles. O estado/posição atual de cada V2G depende do período do dia. Por exemplo, na segunda-feira às 9:00 AM (pico de consumo no consumidor industrial), um dos V2Gs está conectado à rede elétrica do consumidor industrial e os períodos de carga ou descarga podem ser geridos pelo sistema SCADA com foco na otimização dos recursos de energia da instalação industrial.

Em contrapartida, às 8:00 PM (pico de consumo dos consumidores doméstico e comercial) os V2Gs estão conectados ao SHIM da habitação. Assim o Sistema SHIM vai gerir os dois V2Gs no mesmo período no consumidor doméstico. Neste período, o SHIM do consumidor comercial e industrial somente considera as respetivas cargas do sistema de cada consumidor. Os perfis de utilização dos veículos são:

1. Ida de um utilizador da casa para a indústria (30 km) e a volta (30 km);
2. Ida de um utilizador da casa para o comércio (15 km) e a volta (15 km).

A taxa de carga/descarga considerada para ambos os veículos é de 2,3 kWh e a capacidade máxima da bateria do veículo é de 16 kWh. O tipo de V2G considerado tem 160 km de autonomia [Mitsubishi-2008]. Desta forma, os V2G consomem 1500 Wh para viajar 15 km (viagem ao espaço comercial) e 3000 Wh para viajar 30 km (viagem a instalação industrial).

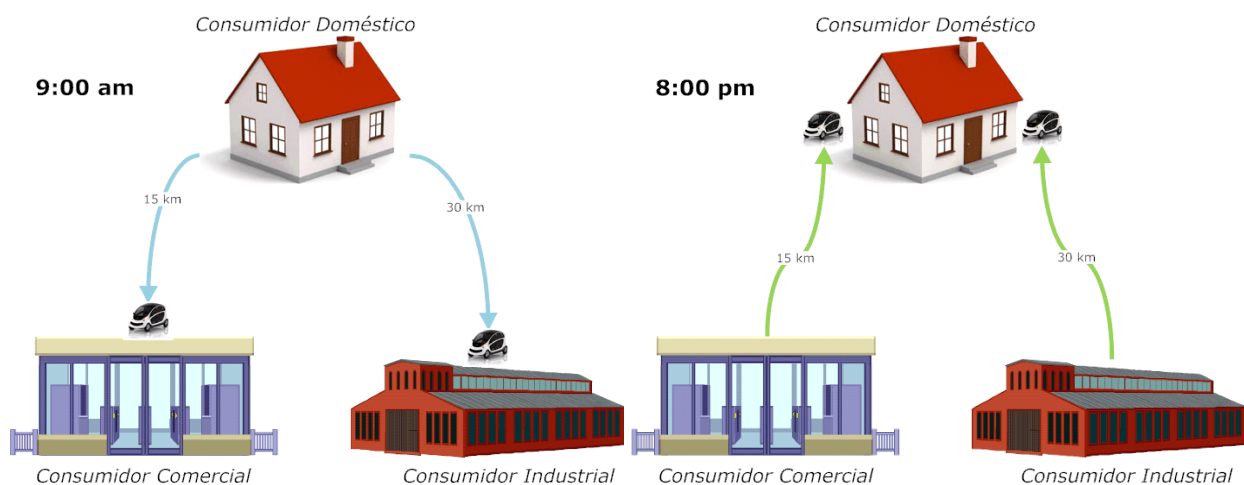


Figura 4.15 – Consumidores finais com V2G em diferentes períodos do dia, de manhã (9:00 AM) e de noite (8:00 PM).

4.4.2. Descrição das cargas dos consumidores finais

Para este caso consideraram-se diferentes cargas para aplicar a metodologia do SHIM desenvolvida, em relação aos três consumidores de diferentes tipos. As cargas do laboratório do GECAD foram consideradas para representar o consumidor doméstico (o mesmo do caso de estudo 1). As cargas consideradas para o consumidor comercial (tipo café) e para o consumidor industrial (tipo fábrica têxtil) estão apresentadas na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Características das cargas dos consumidores finais.

ID	Tipo	Consumidor Doméstico		Consumidor Comercial		Consumidor Industrial	
		Carga	Max Potência (W)	Carga	Max Potência (W)	Carga	Max Potência (W)
1	V ₁	Motor de Indução 1	90	Motor de Indução 1	180	Motor de Indução 1	450
2	V ₂	Motor de Indução 2	200	Motor de Indução 2	400	Motor de Indução 2	1450
3	V ₃	Motor de Indução 3	300	Motor de Indução 3	600	Motor de Indução 3	1700
4	V ₄	Lâmpada Fluorescente	70	Lâmpada Fluorescente	700	Lâmpada Fluorescente	2800
5	F ₁	Lâmpada Incandescente 1	30	Lâmpada Incandescente 1	300	Lâmpada Incandescente 1	300
6	F ₂	Lâmpada Incandescente 2	30	Lâmpada Incandescente 2	300	Lâmpada Incandescente 2	300
7	F ₃	Acumulador de calor 1	1600	Máquina de Café	1500	Acumulador de calor 1	1800
8	F ₄	Acumulador de calor 2	1000	Acumulador de calor 1	3200	Acumulador de calor 2	1800
9	F ₅	Lâmpada Halogéneo	500	Máquina de Lavar Loiça	1500	Lâmpada Halogéneo	2500
10	F ₆	Exaustor	138	Plasma 1	276	Máquina de Costura 1	690
11	F ₇	Frigorífico 1	300	Computador Desktop	600	Ferro de Engomar 1	3000
12	F ₈	Máquina de Lavar Roupa	550	Frigorífico 1	1100	Secador de Roupa	5500
13	F ₉	Televisão 1	138	Sistema de Segurança	138	Máquina de Costura 2	690
14	F ₁₀	Frigorífico 2	300	Desumidificador	600	Ferro de Engomar 2	1500
15	F ₁₁	Micro-ondas	550	Plasma 2	300	Máquina de Lavar Roupa	2750
16	F ₁₂	Televisão 2	138	Sistema de Som	138	Aspirador Vertical 1	690
17	F ₁₃	Chaleira	300	Frigorífico 2	300	Aspirador Vertical 2	1500
18	F ₁₄	Máquina de Lavar Loiça	550	Ar Condicionado	2750	Máquina de Corte	2750
-	Total	Potência Máxima	6784	Potência Máxima	14882	Potência Máxima	32170

4.4.3. Resultados obtidos – Estado do V2Gs

Tendo em consideração os perfis apresentados, às 9:00 AM e às 8:00 PM todos os consumidores finais recebem informação relativamente ao evento de *Demand Response* para cortar/reduzir o consumo das cargas ou vender energia armazenada nas baterias dos V2Gs. A otimização de cada consumidor depende da disponibilidade da energia armazenada nos V2Gs que são considerados no SHIM. A linha de tempo que apresenta a evolução do

estado dos veículos está representada na Tabela 4.8 de acordo com os eventos de *Demand Response*. As células com cor azul representam os veículos que estão conectados ao SHIM do respetivo consumidor. As células com cor vermelha determinam os veículos que estão em viagem. As células com cor verde representam a participação nos eventos de DR, neste caso, às 9:00 AM (100 W consumidor doméstico, 1450 W consumidor comercial, 5235 W consumidor industrial) e às 8:00 PM (400 W consumidor doméstico, 600 W consumidor comercial, 850 W consumidor industrial).

Tabela 4.8 – Estados dos veículos e participação nos eventos de *Demand Response*.

Hora	V2G	Consumidor Doméstico			Consumidor Comercial			Consumidor Industrial		
		Estado	Energia (Wh)	Taxa Carga /Descarga (W)	Estado	Energia (Wh)	Taxa Carga /Descarga (W)	Estado	Energia (Wh)	Taxa Carga /Descarga (W)
7 a.m.	1	Conectado	16000	0	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Ausente	Nenhuma	Nenhuma
	2	Conectado	16000	0	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Ausente	Nenhuma	Nenhuma
8 a.m.	1	Em Viagem	Nenhuma	1500	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Ausente	Nenhuma	Nenhuma
	2	Em Viagem	Nenhuma	3000	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Ausente	Nenhuma	Nenhuma
9 a.m.	1	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Conectado	14500	1450	Ausente	Nenhuma	Nenhuma
	2	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Conectado	13000	2300
10 a.m.	1	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Conectado	13050	0	Ausente	Nenhuma	Nenhuma
	2	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Conectado	10700	0
...
6 p.m.	1	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Em Viagem	Nenhuma	1500	Ausente	Nenhuma	Nenhuma
	2	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Em Viagem	None	3000
8 p.m.	1	Conectado	11550	400	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Ausente	Nenhuma	Nenhuma
	2	Conectado	7700	0	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Ausente	Nenhuma	Nenhuma
9 p.m.	1	Conectado	11150	0	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Ausente	Nenhuma	Nenhuma
	2	Conectado	7700	0	Ausente	Nenhuma	Nenhuma	Ausente	Nenhuma	Nenhuma

Às 7:00 AM ambos os veículos estão ligados ao SHIM do consumidor doméstico (com 16000 Wh de energia armazenada). Às 8:00 AM, os utilizadores do consumidor doméstico iniciam a viagem para os locais de trabalho respetivos e às 9:00 AM ocorre um evento de DR. Neste período, o V2G1 está ligado ao sistema do consumidor comercial e o V2G2 ao sistema do consumidor industrial. Isto implica que o consumidor doméstico apenas poderá participar no evento de *Demand Response* através do corte ou redução nas cargas. Por outro lado, os outros consumidores finais podem utilizar a capacidade de descarga dos

veículos no processo de otimização de acordo com as prioridades indicadas no histórico de dados do Sistema SHIM.

Às 9:00 AM todos os consumidores recebem uma ordem do evento de *Demand Response* para reduzir 100 W, 1450 W e 5235 W correspondentes ao consumidor doméstico, ao consumidor comercial e ao consumidor industrial, respetivamente. O V2G1 tem disponível 14500 Wh de energia devido à viagem de 15 km até ao consumidor comercial e o V2G2 tem 13000 Wh devido à viagem de 30 km até ao consumidor industrial. Às 10:00 AM verifica-se que a energia armazenada no V2G1 é 13050 Wh. Isto significa que o V2G1 descarregou 1450 Wh durante uma hora depois do disparo do evento de *Demand Response*. O valor de descarga do veículo corresponde à redução de consumo imposta pelo evento de DR. Deste modo, o consumo das cargas não é alterado, pois os níveis de prioridades do utilizador privilegiam as cargas. Em relação ao V2G2, a energia armazenada é 10700 Wh. Isto significa que o V2G2 descarregou 2300 Wh durante uma hora após o disparo do evento de DR. O valor de descarga verificado corresponde a uma parte da potência a reduzir indicada no evento (5235 W). Neste caso, o SHIM do consumidor industrial necessita adicionalmente de reduzir o consumo nas cargas com menor prioridade de modo a cumprir totalmente os requisitos do evento de DR.

Às 6:00 PM nenhum SHIM dos consumidores finais consideram veículos visto que os utilizadores dos veículos iniciaram a viagem de regresso, do trabalho até casa. Esta viagem originou uma redução de energia nos respetivos veículos, no caso, o V2G1 reduziu 1500 Wh e o V2G2 reduziu 3000 Wh. Às 8:00 PM, todos os consumidores recebem novo evento de *Demand Response* com ordem para reduzir 400 W, 600 W e 850 W correspondente ao consumidor doméstico, ao consumidor comercial e ao consumidor industrial respetivamente. No momento do disparo do evento o V2G1 tem 11550 Wh e o V2G2 tem 7700 Wh de energia armazenada.

Às 9:00 PM é possível verificar que a energia armazenada no V2G1 é de 11150 Wh. Isto significa que o V2G1 descarregou 400 Wh durante uma hora depois do disparo do evento de *Demand Response*. Tal como no caso anterior, a descarga da energia armazenada nos veículos permite reduzir o consumo total da habitação assegurando a participação no evento de DR. Neste caso, o consumidor comercial e o consumidor industrial reduzem o consumo nas cargas com menor prioridade de modo a cumprir completamente o evento de DR (600 W e 850W, respetivamente).

4.4.4. Resultados obtidos – Escalonamento dos recursos

Os resultados do processo de otimização referente ao modelo proposto na Secção 4.4. é demonstrado pela Tabela 4.9 e Tabela 4.10. A Tabela 4.9 mostra as prioridades para

Gestão Inteligente de uma Habitação considerando o Controlo de Cargas, de Microgeração e Veículos Elétricos em Função do seu Perfil de Utilização

cada carga, para a carga de cada V2G (Ch) e para a descarga de cada V2G (Dch)⁶, quando os consumidores finais cumprem o primeiro evento de *Demand Response* às 9:00 AM. A Tabela 4.10 mostra as prioridades para cada carga, para a carga de cada V2G (Ch) e para a descarga de cada V2G (Dch), quando os consumidores finais cumprem o segundo evento de DR às 8:00 PM. As células com cores das tabelas representam os recursos que foram sujeitos a mudanças.

Tabela 4.9 – Resultados das otimizações às 9:00 AM para os consumidores finais.

ID	Tipo	Consumidor Doméstico			Consumidor Comercial			Consumidor Industrial		
		Prioridade	Potência antes (W)	Potência depois (W)	Prioridade	Potência antes (W)	Potência depois (W)	Prioridade	Potência antes (W)	Potência depois (W)
1	V ₁	1	0	0	0,5	180	180	0,6	450	450
2	V ₂	0,8	200	130	0	400	400	0,8	1450	615
3	V ₃	1	0	0	0	600	600	0,6	1700	1700
4	V ₄	1	0	0	0,5	700	700	0,6	2800	2800
5	F ₁	1	0	0	1	0	0	1	300	0
6	F ₂	1	30	0	1	0	0	0,1	300	300
7	F ₃	0,5	1600	1600	0	1500	1500	0	1800	1800
8	F ₄	0,8	1000	1000	0,3	3200	3200	0,9	1800	0
9	F ₅	1	0	0	0,3	1500	1500	0	2500	2500
10	F ₆	1	0	0	0,3	276	276	0,5	690	690
11	F ₇	0	300	300	0,6	600	600	0,1	3000	3000
12	F ₈	1	0	0	0	1100	1100	0,8	5500	5500
13	F ₉	1	0	0	1	138	138	0,5	690	690
14	F ₁₀	0	300	300	1	0	0	0,8	1500	1500
15	F ₁₁	1	0	0	0,7	300	300	0	2750	2750
16	F ₁₂	1	0	0	0,8	138	138	0,6	690	690
17	F ₁₃	1	0	0	0	300	300	0,5	1500	1500
18	F ₁₄	1	0	0	1	0	0	0,5	2750	2750
Potência Total			3430	3330	-	10932	10932	-	32170	29235
19	V2G ₁	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Ch - 0,8 Dch - 0,9	14500	13050	Nenhum	Nenhum	Nenhum
20	V2G ₂	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhuma	Nenhum	Nenhum	Ch - 0,1 Dch - 1	13000	10700
Potência Reduzida			100			1450			5235	

O sistema de gestão SHIM seleciona as cargas ou o modo de operação dos V2Gs (carga, descarga, *standby*) de acordo com cada prioridade. No primeiro evento de DR para o consumidor comercial, o recurso 20 (descarga V2G₁) é prioritário, enquanto o recurso 18

⁶ As prioridades variam entre 0 e 1. Sendo que recursos (cargas e carga do V2G) classificados com 1 são os que têm menor prioridade. A descarga do V2G classificada com 1 representa a maior prioridade (é considerada na função objetivo com fator negativo). Esta classificação resulta de a função objetivo tentar minimizar a equação (3.5), pelo que mantém em funcionamento os recursos com menor peso para a função objetivo.

(Ar Condicionado) tem menor prioridade. As prioridades são predefinidas pelos utilizadores das instalações consumidoras.

No primeiro evento de DR, às 9:00 AM, o consumidor doméstico participou no programa reduzindo a potência consumida (100 W) desligando a lâmpada incandescente 2 e reduzindo o consumo do motor de indução 2 (cargas com menos prioridade e que estavam ligadas). O consumidor comercial utilizou a descarga do V2G1 para assegurar a redução de potência requerida (1450 W), mantendo assim o mesmo consumo das cargas. O consumidor industrial além de descarregar o V2G2, desliga também a lâmpada incandescente 1 e o acumulador de calor 2, e reduz o consumo do motor de indução 2 para garantir a potência de redução requerida no evento de DR respetivo (5235 W).

Tabela 4.10 – Resultados das otimizações às 8:00 PM para os consumidores finais.

ID	Tipo	Consumidor Doméstico			Consumidor Comercial			Consumidor Industrial		
		Prioridade	Potência antes (W)	Potência depois (W)	Prioridade	Potência antes (W)	Potência depois (W)	Prioridade	Potência antes (W)	Potência depois (W)
1	V ₁	0,4	90	90	0,5	180	180	0,4	450	450
2	V ₂	0,2	200	200	0,5	400	400	0,2	1450	600
3	V ₃	0,4	300	300	0	600	600	0,1	0	0
4	V ₄	0,6	70	70	1	700	700	0,2	0	0
5	F ₁	0	30	30	0,2	300	300	0	0	0
6	F ₂	0	30	30	0,2	300	300	0,2	0	0
7	F ₃	1	1600	1600	1	1500	1500	0	0	0
8	F ₄	0,5	1000	1000	0,6	3200	3200	0,4	1800	1800
9	F ₅	0,3	500	500	0,8	1500	1500	1	2500	2500
10	F ₆	0,8	138	138	0,7	276	276	0	0	0
11	F ₇	1	300	300	0,5	600	600	0	0	0
12	F ₈	0,3	550	550	1	1100	1100	0,6	5500	5500
13	F ₉	0,5	138	138	0,8	138	138	0	0	0
14	F ₁₀	1	300	300	0	600	0	0	0	0
15	F ₁₁	0,4	550	550	0,4	300	300	1	2750	2750
16	F ₁₂	0,3	138	138	0,4	138	138	0,4	690	690
17	F ₁₃	0,6	300	300	1	300	300	0	0	0
18	F ₁₄	0,3	550	550	0	0	0	0	0	0
Potência Total			6784	6784	-	12132	11532	-	15140	14290
19	V2G ₁	Ch - 0,8 Dch - 0,9	11550	11150	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum
20	V2G ₂	Ch - 0,5 Dch - 0,2	7700	7700	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Potência Reduzida			400			600			850	

No segundo evento de *Demand Response*, às 8:00 PM, o consumidor doméstico assegurou a participação no evento (redução de 400 W) com a descarga do V2G1, mantendo o mesmo consumo das cargas. O consumidor comercial apenas necessitou de desligar o desumidificador para reduzir o seu consumo em 600 W enquanto que, o

consumidor industrial reduziu o consumo do motor de indução 2 de 1450 W para 600 W. A Figura 4.16 apresenta o estado do veículo V2G1 antes e depois do evento DR.

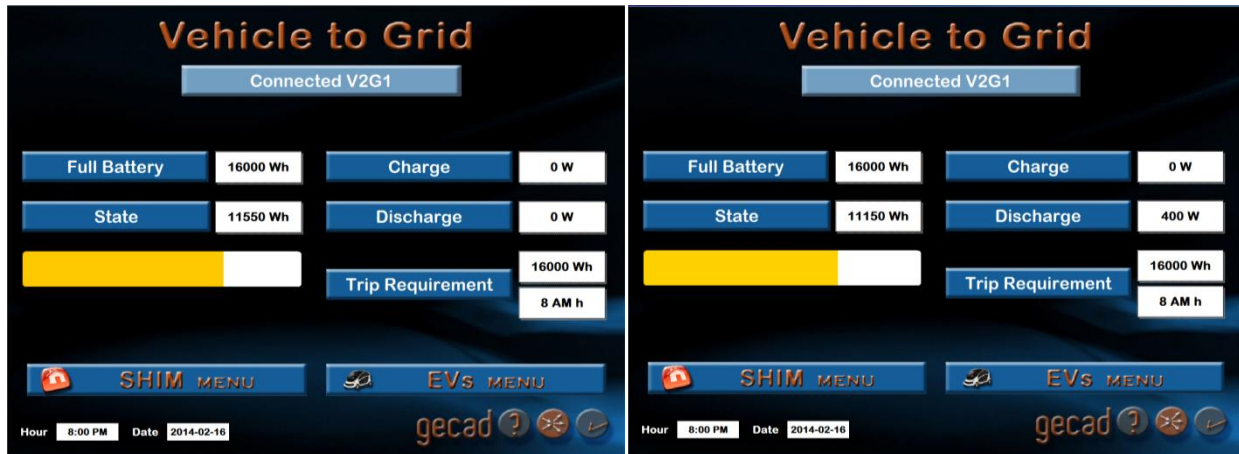


Figura 4.16 – Estado do V2G1 no segundo evento DR (8:00 PM).

4.4.5. Análise dos resultados do caso de estudo 2

De acordo com os resultados é possível verificar que os veículos têm participação e impacto direto na otimização do consumo. O Sistema SHIM de qualquer consumidor é dotado das prioridades para cada carga e veículo, definidas pelos utilizadores, de acordo com o contexto de operação. A aquisição de dados do SHIM permite conhecer as necessidades dos utilizadores em tempo real de modo a garantir os requisitos dos eventos de *Demand Response*. A partir deste caso de estudo é possível concluir que um veículo elétrico tem maior influência na otimização de um consumidor doméstico (aproximadamente 34% para o consumidor doméstico considerado), do que na otimização de um consumidor industrial (aproximadamente 7% para o consumidor industrial considerado). Esta influência justifica-se pela diferença de consumo de energia existente entre os diferentes tipos de consumidores.

Desta forma, um veículo pode ter pouco impacto na otimização dos recursos do consumidor industrial, mas se estamos a lidar com um número considerável de veículos, esse impacto deve ser analisado de forma adequada. Isto significa que as decisões de otimização dependem diretamente das necessidades de energia dos consumidores, tais como, o número de veículos considerados e o tipo de consumidor final. As contribuições da utilização da metodologia proposta para o Sistema SHIM são apresentadas de seguida:

- A metodologia desenvolvida pode ser adaptada para cada tipo de consumidor final e para uma considerável quantidade de recursos de energia;
- Cada Sistema SHIM dos consumidores é capaz de ser adaptado às atuais condições durante o dia todo com ou sem a presença de veículos;

- A inclusão de veículos no SHIM dos consumidores torna possível garantir o conforto dos utilizadores através da descarga de energia das baterias.

4.5. Caso de estudo 3 – Gestão de cargas, veículos elétricos e microgeração

O presente caso de estudo diz respeito a utilização do Sistema SHIM para obter um escalonamento de recursos energéticos ideal em cenários com excesso de produção eólica. A inclusão de produção eólica e fotovoltaica torna o processo de gestão mais complexo, fruto da forte variabilidade destes recursos energéticos, originando períodos com produção nula e outros com produção excessiva (superior ao consumo). Neste caso de estudo, o SHIM é aplicado para a gestão de um consumidor doméstico que inclui no seu sistema elétrico um gerador eólico, um sistema fotovoltaico, uma unidade de microgeração, um veículo elétrico com capacidade para descarga (V2G) e as cargas. Para tal, o SHIM foi adaptado para considerar todos estes recursos utilizando para tal, a metodologia apresentada na Secção 3.7, de modo a apoiar a decisão do utilizador em tempo real.

Os cenários 3A e 3B são apresentados para validar e analisar a aplicação do Sistema SHIM, de acordo com o contexto do dia e considerando o estado atual das cargas, da produção distribuída e do veículo elétrico (V2G). A base de dados do SHIM contém as prioridades das cargas, da produção distribuída e do veículo elétrico, o mínimo e o máximo consumo de cada carga, a informação da carga e descarga do V2G e o mínimo e máximo de produção de cada recurso de produção. Toda esta informação é considerada na metodologia desenvolvida, sendo que varia com o contexto do momento em que é aplicada. No presente trabalho o objetivo principal do Sistema SHIM é gerir o excesso de produção proveniente, principalmente, do aerogerador. O sistema utiliza o processo de otimização para obter um escalonamento ideal dos recursos de energia. Este caso de estudo foi apresentado e publicado em [Fernandes, *et al.*-2012c].

4.5.1. Caracterização do consumidor doméstico

O consumidor doméstico considerado apresenta os recursos de produção distribuída (eólico, fotovoltaico e cogeração), o V2G e as cargas. O gerador eólico, o sistema fotovoltaico e cargas são baseados nos recursos presentes LASIE. O V2G é baseado em informações da *Mitsubishi i-MiEV* [Mitsubishi-2008] e a informação relativa a unidade de microgeração foi obtida em [Commission-2002; Fernandes, *et al.*-2012b].

Os recursos de energia do consumidor onde é aplicado o Sistema SHIM e a direção do fluxo da potência são apresentados na Figura 4.17. A Tabela 4.11 caracteriza os recursos de energia utilizados no consumidor doméstico para o caso de estudo. Neste caso de estudo foi considerada uma habitação unifamiliar com 13,6 kW de potência de consumo máximo.

Gestão Inteligente de uma Habitação considerando o Controlo de Cargas, de Microgeração e Veículos Elétricos em Função do seu Perfil de Utilização

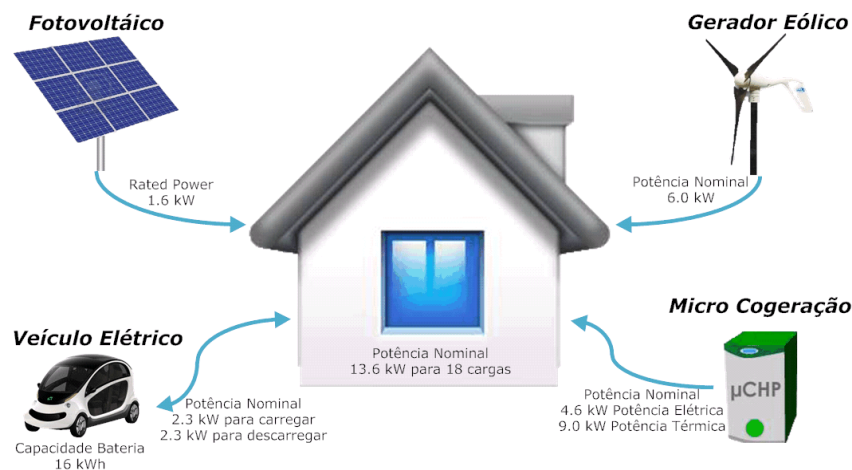


Figura 4.17 – Recursos de energia considerados no consumidor doméstico do tipo unifamiliar.

O gerador eólico e o sistema fotovoltaico têm uma capacidade de produção de 6,0 kW e 1,6 kW respetivamente [Gomes, *et al.*-2011]. O padrão de carga/descarga do V2G é de 2,3 kW/h e a capacidade máxima da bateria do V2G é de 16 kWh. A microcogeração produz energia elétrica e térmica para uso individual com capacidade de 4,6 kW_{el} e 9,0 kW_{ter} respetivamente.

Tabela 4.11 – Caracterização dos recursos de energia existentes no consumidor doméstico.

Recurso	Tipo	Controlo	SHIM ID	Potência Máxima de Base (W)	Potência Máxima Cenários (W)
Motor de Indução 1	Carga	Variável	C ₁	90	180
Motor de Indução 2	Carga	Variável	C ₂	200	400
Motor de Indução 3	Carga	Variável	C ₃	300	600
Lâmpada Fluorescente	Carga	Variável	C ₄	70	140
Lâmpada Incandescente 1	Carga	Discreta	C ₅	30	60
Lâmpada Incandescente 2	Carga	Discreta	C ₆	30	60
Acumulador de calor 1	Carga	Discreta	C ₇	1600	3200
Acumulador de calor 2	Carga	Discreta	C ₈	1000	2000
Lâmpada Halogéneo	Carga	Discreta	C ₉	500	1000
Exaustor	Carga	Discreta	C ₁₀	138	276
Frigorífico 1	Carga	Discreta	C ₁₁	300	600
Máquina de Lavar Roupa	Carga	Discreta	C ₁₂	550	1100
Televisão 1	Carga	Discreta	C ₁₃	138	276
Frigorífico 2	Carga	Discreta	C ₁₄	300	600
Micro-ondas	Carga	Discreta	C ₁₅	550	1100
Televisão 2	Carga	Discreta	C ₁₆	138	276
Chaleira	Carga	Discreta	C ₁₇	300	600
Máquina de Lavar Loíça	Carga	Discreta	C ₁₈	550	1100
V2G	Veículo	Variável	EV _{1c}	2300	2300
	Veículo	Variável	EV _{1d}	2300	2300
Eólico	Produção	Discreta	DG ₁	1000	6000
Fotovoltaico	Produção	Discreta	DG ₂	400	1600
Cogeração	Produção	Variável	DG _{3e}	4600	4600
	Produção	Variável	DG _{3t}	9000	9000
Injeção na rede	Rede	Variável	Gr	-	-

4.5.2. Caraterização dos cenários

Para este caso de estudo foram elaborados dois cenários com excesso de produção eólica, Cenário 3A e Cenário 3B. Os dois cenários apresentam diferentes estados iniciais nos seus recursos, mais exatamente em algumas cargas, mantendo, contudo, as mesmas prioridades⁷.

A Tabela 4.12 apresenta as prioridades e estados iniciais para cada recurso de energia no respetivo cenário. O estado inicial do veículo indica que não está a carregar nem a descarregar, estando a aguardar uma ordem do SHIM.

Tabela 4.12 – Caraterização dos recursos de energia para os respetivos cenários.

Recurso	Cenário 3A		Cenário 3B	
	Prioridade	Potência Inicial (W)	Prioridade	Potência Inicial (W)
Motor de Indução 1	0,6	0	0,6	180
Motor de Indução 2	0,8	0	0,8	0
Motor de Indução 3	0,6	0	0,6	600
Lâmpada Fluorescente	0,4	140	0,4	140
Lâmpada Incandescente 1	1	0	1	0
Lâmpada Incandescente 2	1	0	1	0
Acumulador de calor 1	1	0	1	0
Acumulador de calor 2	0	2000	0	2000
Lâmpada Halogéneo	0,7	0	0,7	0
Exaustor	0,2	276	0,2	276
Frigorífico 1	0	600	0	600
Máquina de Lavar Roupa	0,7	0	0,7	1100
Televisão 1	0,5	276	0,5	276
Frigorífico 2	0	600	0	600
Micro-ondas	0,6	1100	0,6	1100
Televisão 2	0,9	0	0,9	0
Chaleira	0,4	600	0,4	600
Máquina de Lavar Loiça	0,7	0	0,7	1100
V2G carga	0	0	0	0
V2G descarga	0,1	0	0,1	0
Eólico	1	6000	1	6000
Fotovoltaico	1	800	1	800
Cogeração (elétrico)	0,5	3450	0,5	3450
Injeção na rede	0	0	0	0

⁷ As prioridades variam entre 0 e 1. Sendo que os recursos (cargas e carga do V2G) classificados com 1 são os que têm menor prioridade. A descarga do V2G e a produção distribuída classificada com 1 representa a maior prioridade (é considerada na função objetivo com fator negativo). Esta classificação resulta de a função objetivo tentar minimizar a equação (3.13), pelo que mantém em funcionamento os recursos com menor peso para a função objetivo.

4.5.3. Resultados da otimização – Cenário 3A

Para o Cenário 3A o objetivo foi obter um balanço de potência entre o consumo e a produção sendo que inicialmente a produção era bem superior ao consumo. Para isso a Figura 4.18 apresenta os resultados obtidos da otimização no SHIM para cada recurso de energia.

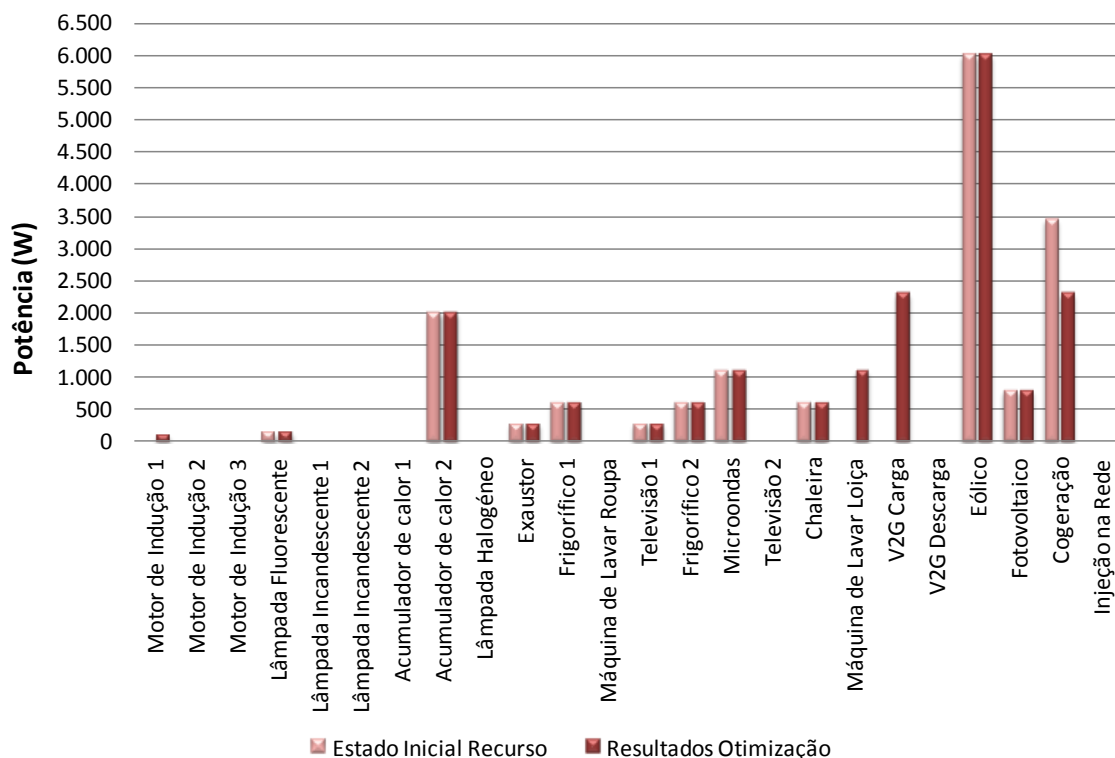


Figura 4.18 – Resultados do estado dos recursos de energia no cenário 3A.

Pela análise da figura, o balanço entre a produção e o consumo foi obtido de dois modos: com a redução da produção e com o aumento do consumo. Para aquele instante, e de acordo com as prioridades para cada recurso, o sistema colocou a microgeração a produzir menos visto que a necessidade térmica não era a mais prioritária para o momento e o excesso de vento permitia produzir energia a menores custos. Contudo, a microgeração não poderia ser desligada totalmente.

Neste caso, o sistema aumentou o consumo com a ligação do motor de indução 1, da máquina de lavar loiça e da carga do veículo elétrico. Estas cargas são consideradas cargas deslocáveis ou seja que podem ser escalonadas em diferentes períodos sem afetar o conforto do consumidor. Normalmente estas cargas deverão ser escalonadas nos períodos com menores custos de produção como é o caso do cenário em estudo. Uma outra estratégia possível seria ceder na rede elétrica a montante, no entanto esta hipótese não foi considerada de forma a testar o desempenho do SHIM.

Desta forma a Tabela 4.13 mostra a diferença de estados de cada recurso de energia antes e depois da otimização do SHIM. A tabela mostra que inicialmente o consumo tinha o valor de 5592 W e a produção o valor de 10250 W. Com as mudanças indicadas pelo SHIM a produção e o consumo passaram a ter o mesmo valor de 9100 W, verificando-se uma redução na produção e um aumento no consumo. Sendo que uma parte do aumento do consumo corresponde à carga do veículo.

Tabela 4.13 – Resultados do escalonamento no Cenário 3A.

Recurso	Potência Inicial (W)	Potência Final (W)	Diferença (W)
Motor de Indução 1	0	108	108
Motor de Indução 2	0	0	0
Motor de Indução 3	0	0	0
Lâmpada Fluorescente	140	140	0
Lâmpada Incandescente 1	0	0	0
Lâmpada Incandescente 2	0	0	0
Acumulador de calor 1	0	0	0
Acumulador de calor 2	2000	2000	0
Lâmpada Halogéneo	0	0	0
Exaustor	276	276	0
Frigorífico 1	600	600	0
Máquina de Lavar Roupa	0	0	0
Televisão 1	276	276	0
Frigorífico 2	600	600	0
Micro-ondas	1100	1100	0
Televisão 2	0	0	0
Chaleira	600	600	0
Máquina de Lavar Louça	0	1100	1100
V2G carga	0	2300	2300
V2G descarga	0	0	0
Eólico	6000	6000	0
Fotovoltaico	800	800	0
Cogeração (elétrico)	3450	2300	-1150
Total cargas e V2G carga	5592	9100	3508
Total produção e V2G descarga	10250	9100	-1150
Injeção na rede	0	0	0

4.5.4. Resultados da otimização – Cenário 3B

Para o Cenário 3B o objetivo foi obter um balanço de potência entre o consumo e a produção sendo que a diferença entre a produção e o consumo para este cenário é menor do que no Cenário 3A. Para isso a Figura 4.19 apresenta os resultados obtidos da otimização no SHIM para cada recurso de energia.

Pela análise da figura o balanço entre a produção e o consumo foi obtido somente com a ligação da carga do veículo. Desta forma a Tabela 4.14 mostra a diferença de estados de cada recurso de energia antes e depois da otimização do SHIM.

Gestão Inteligente de uma Habitação considerando o Controlo de Cargas, de Microgeração e Veículos Elétricos em Função do seu Perfil de Utilização

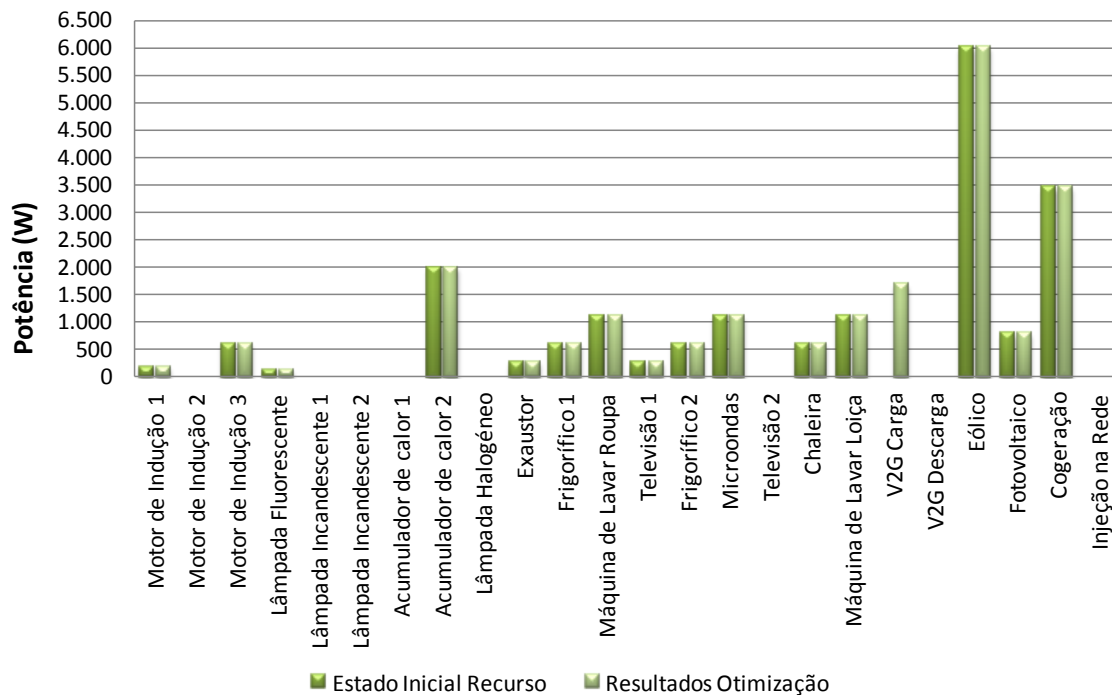


Figura 4.19 – Resultados do estado dos recursos de energia no cenário 3B.

Tabela 4.14 – Resultados do escalonamento no Cenário 3B.

Recurso	Potência Inicial (W)	Potência Final (W)	Diferença (W)
Motor de Indução 1	180	180	0
Motor de Indução 2	0	0	0
Motor de Indução 3	600	600	0
Lâmpada Fluorescente	140	140	0
Lâmpada Incandescente 1	0	0	0
Lâmpada Incandescente 2	0	0	0
Acumulador de calor 1	0	0	0
Acumulador de calor 2	2000	2000	0
Lâmpada Halogéneo	0	0	0
Exaustor	276	276	0
Frigorífico 1	600	600	0
Máquina de Lavar Roupa	1100	1100	0
Televisão 1	276	276	0
Frigorífico 2	600	600	0
Micro-ondas	1100	1100	0
Televisão 2	0	0	0
Chaleira	600	600	0
Máquina de Lavar Loiça	1100	1100	0
V2G carga	0	1678	1678
V2G descarga	0	0	0
Eólico	6000	6000	0
Fotovoltaico	800	800	0
Cogeração (elétrico)	3450	3450	0
Total cargas e V2G carga	8572	10250	1678
Total produção e V2G descarga	10250	10250	0
Injeção na rede	0	0	0

A tabela mostra que inicialmente o consumo tinha o valor de 8572 W e a produção o valor de 10250 W (igual ao Cenário 3A). Com as mudanças indicadas pelo SHIM a produção e o consumo passaram a ter o mesmo valor de 10250 W, verificando-se apenas um aumento no consumo, aumento de 1678 W. Para este cenário a produção manteve-se no mesmo valor havendo somente aumento da carga, neste caso, na carga do veículo.

4.5.5. Análise dos resultados do caso de estudo 3

De acordo com os resultados, o Sistema SHIM provou ser capaz de gerir adequadamente os recursos energéticos da casa em situações com excesso de vento, até mesmo para cenários com relativamente baixo consumo. O sistema tem a capacidade para lidar com a gestão da energia de um consumidor doméstico em tempo real. No entanto, em ambos os cenários é possível constatar a importância dos veículos elétricos no processo de gestão de energia mostrando também, a sua importância para permitir o uso mais intensivo da produção de energia elétrica através da energia renovável.

Determinadas cargas como por exemplo, no caso das máquinas de lavar, se elas estiverem em modo de espera, em situações onde é necessário aumentar o consumo, a sua utilização é uma resposta válida para aproximar o balanço entre a produção e o consumo. Esta situação acontece principalmente quando a diferença é significativa como aconteceu no Cenário 3A. No caso de uma diferença menor no balanço, a carga da bateria de um veículo pode ser suficientemente útil como aconteceu no Cenário 3B.

Outra forma de o SHIM ter capacidade para garantir o balanço de potência é a utilização de recursos de produção de energia que permitem o seu controlo, isto é, permitir a redução na produção em momentos necessários. Isto acontece através da utilização da unidade de microgeração onde, no Cenário 3A, a redução da produção da microgeração também foi utilizada para garantir o balanço de potência visto que apresentava uma prioridade menor do que as restantes tecnologias de produção.

Também a microgeração permite uma regulação por escalões o que não obriga a desligar totalmente. Por outro lado, a produção eólica e a fotovoltaica não permitem essa regulação. Neste sentido, a redução da microgeração permite reduzir os custos com a sua utilização e não apresenta um impacto significativo para o contexto apresentado. Tudo depende sempre das prioridades indicadas pelo utilizador para diversos contextos.

4.6. Caso de estudo 4 – Modelo dinâmico de gestão

O caso de estudo 4 pretende mostrar a metodologia proposta na Secção 3.6 durante um evento de *Demand Response*. Dois cenários foram testados considerando a duração de eventos de DR para 30 minutos e 240 minutos (4 horas). Em ambas as simulações, o evento de DR propõe a redução da potência de consumo durante todo o evento. Este caso de estudo apresentado foi publicado em [Fernandes, *et al.*-2014].

Os consumidores domésticos têm diferentes tipos de cargas com diferentes características de utilização. Neste caso de estudo, foram considerados os perfis de cargas apresentados na Secção 4.2.1, nomeadamente para o frigorífico, máquina de lavar roupa e sistemas AVAC. Diversos aspetos foram tidos em conta como a potência de consumo, o tempo que as cargas estão ligadas ou desligadas, a prioridade para cada carga, as cargas que podem ser desligadas (cargas não prioritárias), o tipo de controlo de cada carga (variável ou discreto), e o tipo de carga (iluminação, motores, sistema AVAC, etc.). Na simulação do consumidor doméstico foram usadas 18 cargas incluindo as reais e as virtuais, que são controladas pelo Sistema SHIM.

4.6.1. Caraterização das cargas para o consumidor doméstico

Como mencionado anteriormente, o caso de estudo 4 considera cargas reais e virtuais na mesma simulação. As cargas virtuais são implementadas considerando os dados recolhidos em aplicações reais e que foram gravados na base de dados do SHIM. Atualmente, na base de dados é possível obter o perfil de consumo de diferentes aplicações e dispositivos como os frigoríficos, micro-ondas, máquina de lavar roupa, refrigerador de água e sistema de ar condicionado.

Tabela 4.15 – Informação para identificar as características das cargas do consumidor doméstico.

Carga	Controlo SHIM	Carga ID	Tipo	Controlo	Classificação	Ton	Toff	T
Motor 1	Real	1	1	0	2	9	4	13
Motor 2	Real	2	1	0	2	8	4	12
Motor 3	Real	3	1	0	2	4	10	14
Lâmpada Fluorescente	Real	4	2	0	1	∞	0	∞/0
Lâmpada Halogéneo 1	Real	5	2	1	1	∞	0	∞/0
Lâmpada Halogéneo 2	Real	6	2	1	1	∞	0	∞/0
AVAC 1	Simulada	7	3	1	1	15	4	19
AVAC 2	Simulada	8	3	1	1	6	4	10
Refrigerador de Água	Real	9	7	1	1	38	65	103
Exaustor	Simulada	10	6	1	2	50	50	100
Frigorífico 1	Real	11	7	1	1	7	45	52
Máquina de Lavar Roupa	Real	12	5	1	3	10	15	25
TV 1	Simulada	13	4	1	3	40	0	40
Frigorífico 2	Simulada	14	7	1	1	10	40	50
Micro-ondas	Simulada	15	6	1	3	3	0	3
TV 2	Simulada	16	4	1	1	40	0	40
Chaleira	Simulada	17	6	1	3	10	0	10
Máquina de Lavar Louça	Simulada	18	5	1	3	32	60	92

As cargas são caracterizadas no módulo de gestão dos recursos considerando diferentes aspetos. Na Figura 4.20 algumas características são resumidas. As cargas usadas são classificadas de acordo com as próprias características como na Tabela 4.15.

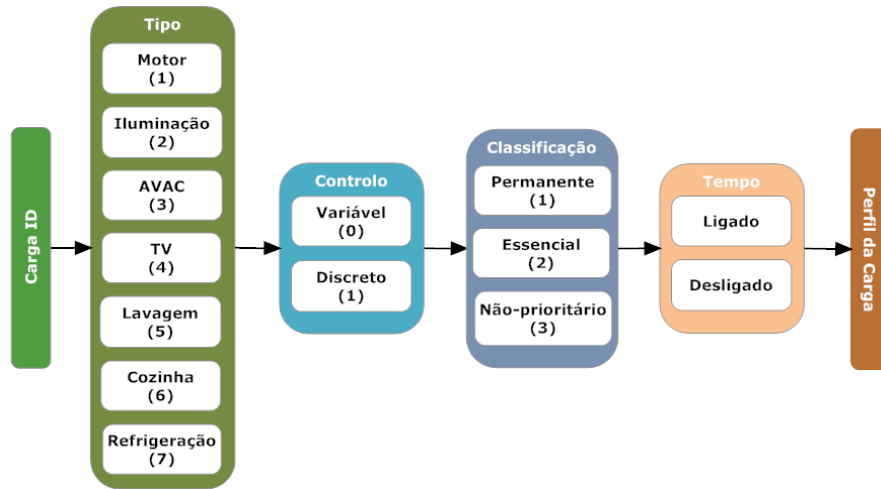


Figura 4.20 – Diagrama para identificar as características das cargas no evento de gestão.

4.6.2. Descrição dos cenários para o caso de estudo 4

No presente caso de estudo são apresentados dois cenários com diferentes tempos de duração de *Demand Response*. Ambos os cenários são comparados com o cenário sem evento de DR (Cenário de Base). O consumo de potência consumida no Cenário de Base é apresentado na Figura 4.21, considerando para isso as características das cargas na subsecção anterior.

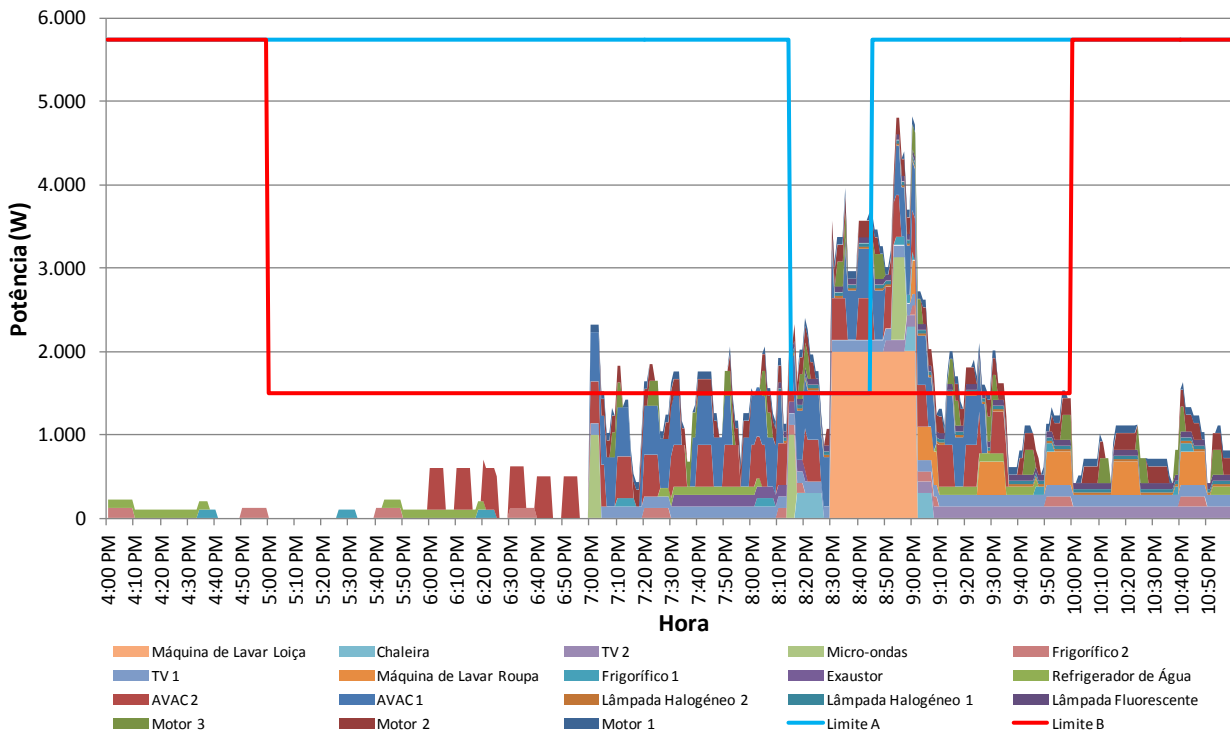


Figura 4.21 – Potência de consumo para o Cenário de Base sem limites de potência.

O limite da potência de consumo para o Cenário de Base é de 5,9 kW. Este valor é fornecido pelo módulo de identificação do contexto. Contudo, durante o evento de DR o limite de consumo de potência é reduzido para 1,5 kW durante 30 minutos, começando às 8:15 PM no Cenário 4A (linha azul na Figura 4.21), e durante 240 minutos, começando às 5:00 PM no Cenário 4B (linha vermelha na Figura 4.21).

4.6.3. Resultados obtidos – Cenário 4A

Os resultados obtidos no Cenário 4A são apresentados e discutidos nesta subsecção. Na Figura 4.22 é apresentado o consumo desagregado das cargas entre 8:00 PM e 10:00 PM. No topo da Figura 4.22, é possível ver o consumo de potência no Cenário de Base, e na parte de baixo, o consumo considerando o evento de *Demand Response* entre as 8:15 PM e as 8:45 PM (30 minutos).

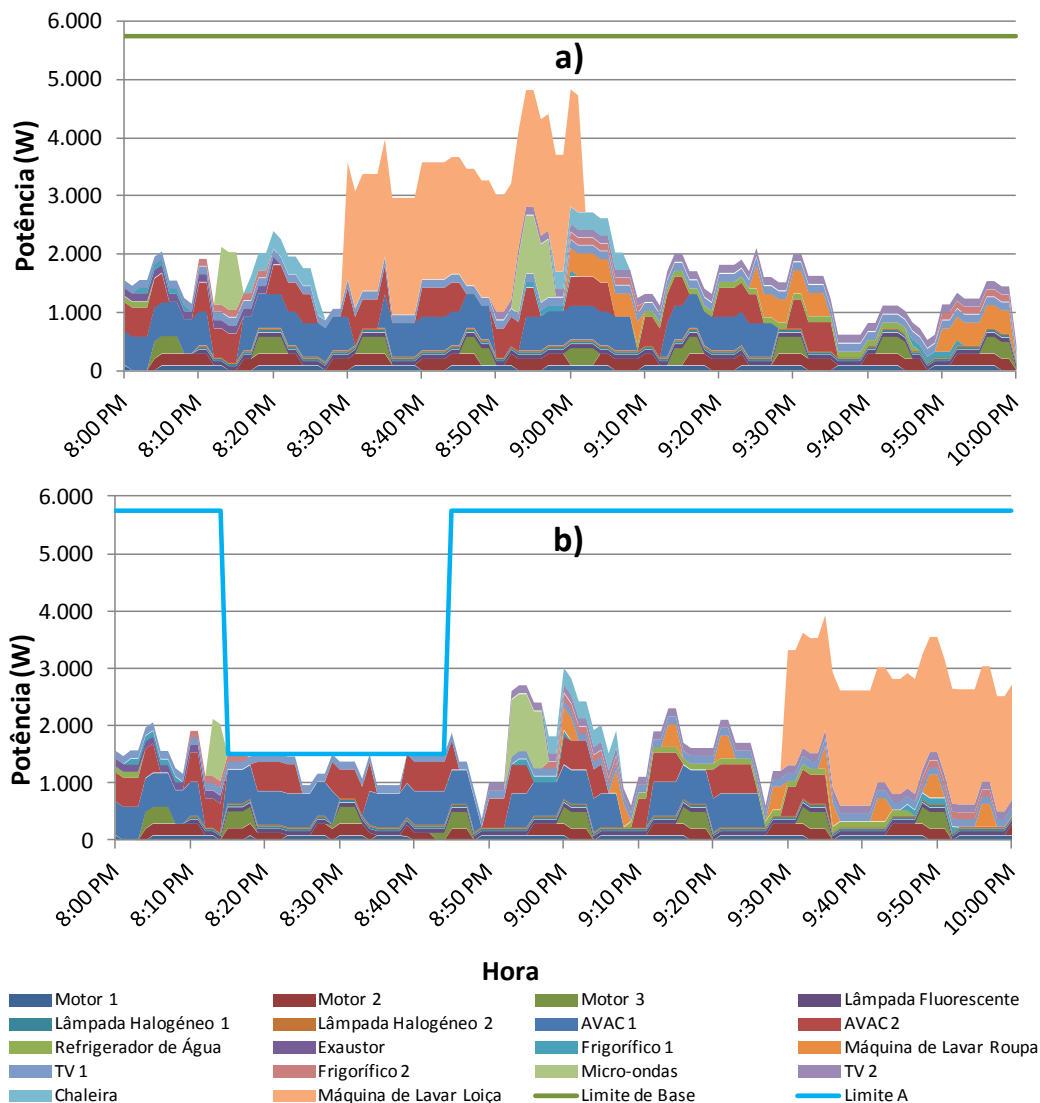


Figura 4.22 – Potência de consumo para cada carga no Cenário de Base (a) e no Cenário 4A com 30 minutos de evento de *Demand Response* (b).

Como é possível ver na Figura 4.22, o SHIM mantém o consumo de potência abaixo do limite imposto (1500 W) durante o evento de *Demand Response*. Depois do evento de DR, o perfil de consumo é diferente quando comparado com o Cenário de Base. Na Figura 4.23 é possível ver com maior detalhe as diferenças da potência de consumo entre o Cenário de Base e o Cenário 4A. Nesta figura, os valores positivos representam a redução de consumo e os valores negativos representam o aumento de consumo. Em alguns períodos o consumo aumenta em algumas cargas para ser reduzido em períodos mais críticos para o SHIM. Desta forma, é possível garantir o limite de consumo durante todo o evento. Algumas cargas, por exemplo a máquina de lavar roupa, são adiadas para um período após o evento de DR, aumentando substancialmente o consumo após as 9:30 PM.

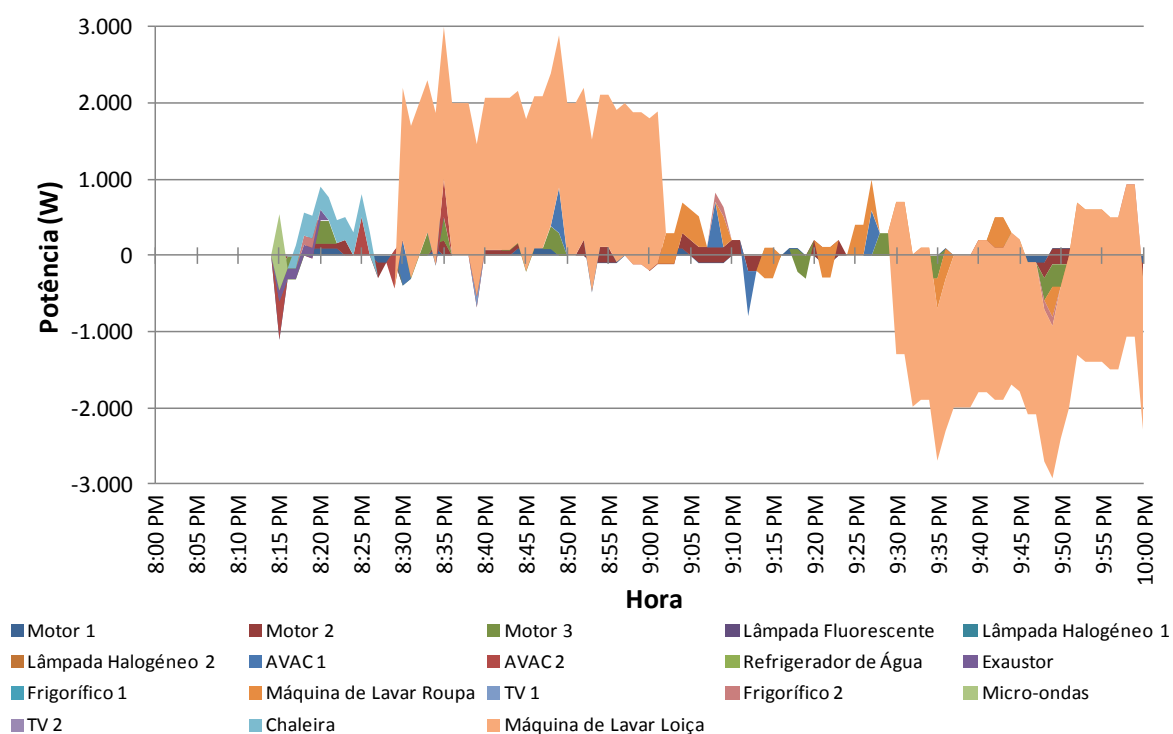


Figura 4.23 – Corte da potência de consumo para o Cenário 4A.

Para verificar a eficácia do método *Dynamic Loads Priority (DLP)*, a Figura 4.24 apresenta os resultados da aplicação do método para o Cenário 4A considerando 4 cargas com as características apresentadas na Subsecção 4.6.1:

- Motor 1 (tipo motor, controlo variável, carga essencial, Ton: 9, Toff: 4)
- Lâmpada fluorescente (tipo iluminação, controlo variável, carga permanente, Ton: ∞ (infinito), Toff: 0)
- AVAC 2 (tipo AVAC, controlo discreto, carga permanente, Ton: 6, Toff: 4)
- Frigorífico 2 (tipo refrigerador, controlo discreto, carga permanente, Ton: 10, Toff: 40)

Gestão Inteligente de uma Habitação considerando o Controlo de Cargas, de Microgeração e Veículos Elétricos em Função do seu Perfil de Utilização

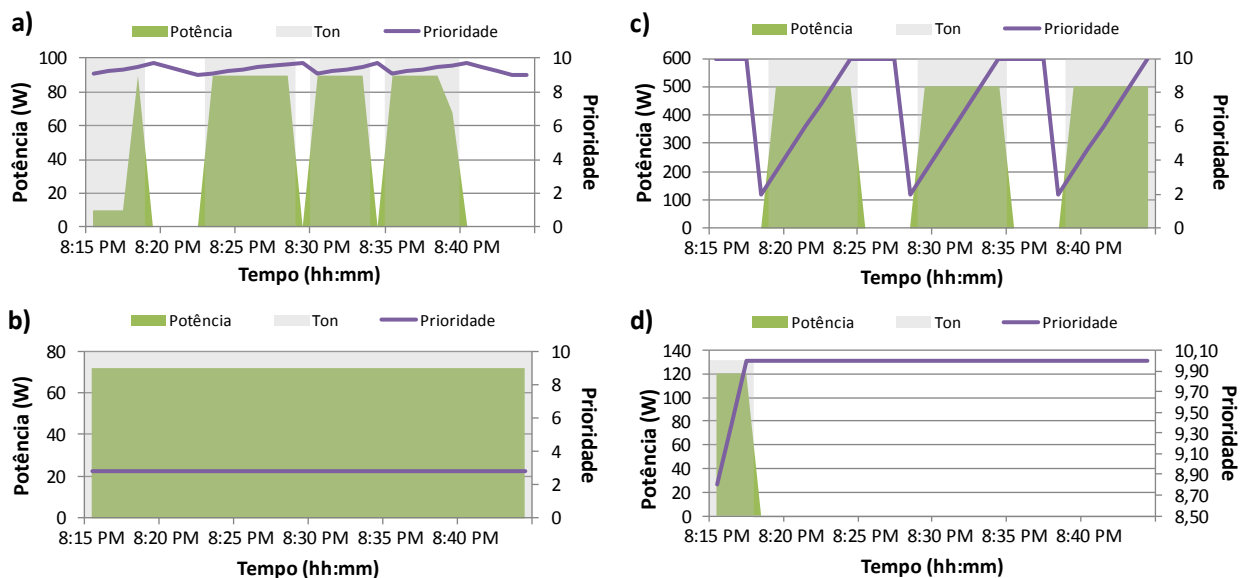


Figura 4.24 – Resultados das prioridades dinâmicas das cargas no evento de *Demand Response* do Cenário 4A para o motor 1 (a), a lâmpada fluorescente (b), o AVAC 2 (c) e o frigorífico 2 (d).

De acordo com a Figura 4.24 é importante analisar os resultados que dependem das características das cargas. A análise para cada prioridade da carga no Cenário 4A é:

- Motor 1 (ID 1): a prioridade está entre 9 e 10 para o evento de DR (nunca é exatamente 10). A duração do estado ligado ou do estado desligado depende do valor da prioridade das outras cargas (Figura 4.24 a);
- Lâmpada Fluorescente (ID 4): a prioridade é constante devido às suas características. As lâmpadas podem estar sempre ligadas, não precisam ser desligadas. Na prática, o fator k é sempre igual a 0 e o fator de prioridade da carga final λ_f é igual ao fator de prioridade da carga inicial λ_i definido pelo módulo de contextos (Figura 4.24 b);
- AVAC 2 (ID 8): é uma carga constante de acordo com o modo de referência da carga. Esta carga está ligada por 6 minutos e desligada por 4 minutos. O fator da prioridade da carga muda rapidamente de 10 para 2^8 quando a carga está desligada por mais de 4 minutos uma vez que vai ter um impacto significativo no conforto (Figura 4.24 c);
- Frigorífico 2 (ID 14): no início do evento de DR, o frigorífico já estava ligado por 7 minutos. O Sistema SHIM, de acordo com os valores das prioridades, mantém o frigorífico 2 ligado até ao fim do ciclo (até 10 minutos). Depois

⁸ Entretanto as prioridades foram atualizados no Sistema SHIM e por isso o caso de estudo 4 apresenta essa diferença dos restantes. As prioridades variam entre 0 e 10. Sendo que as cargas classificadas com 10 são as que têm menor prioridade. Esta classificação resulta de a função objetivo tentar minimizar a equação (3.1), pelo que mantém em funcionamento as carga com menor peso.

destes 10 minutos, o valor da prioridade é mínimo (10), portanto a carga é desligada e é mantida desligada até ao fim do evento de DR por causa do ciclo de funcionamento do frigorífico (Figura 4.24 d).

4.6.4. Resultados obtidos – Cenário 4B

Os resultados obtidos no Cenário 4B são apresentados e discutidos nesta subsecção. Na Figura 4.25 estão apresentados os consumos desagregados das cargas entre 8:00 PM e 10:00 PM. No topo da Figura 4.25, é possível ver o consumo de potência no Cenário de Base, e na parte de baixo, o consumo considerando o evento de *Demand Response* entre as 5:00 PM e as 8:59 PM (240 minutos).

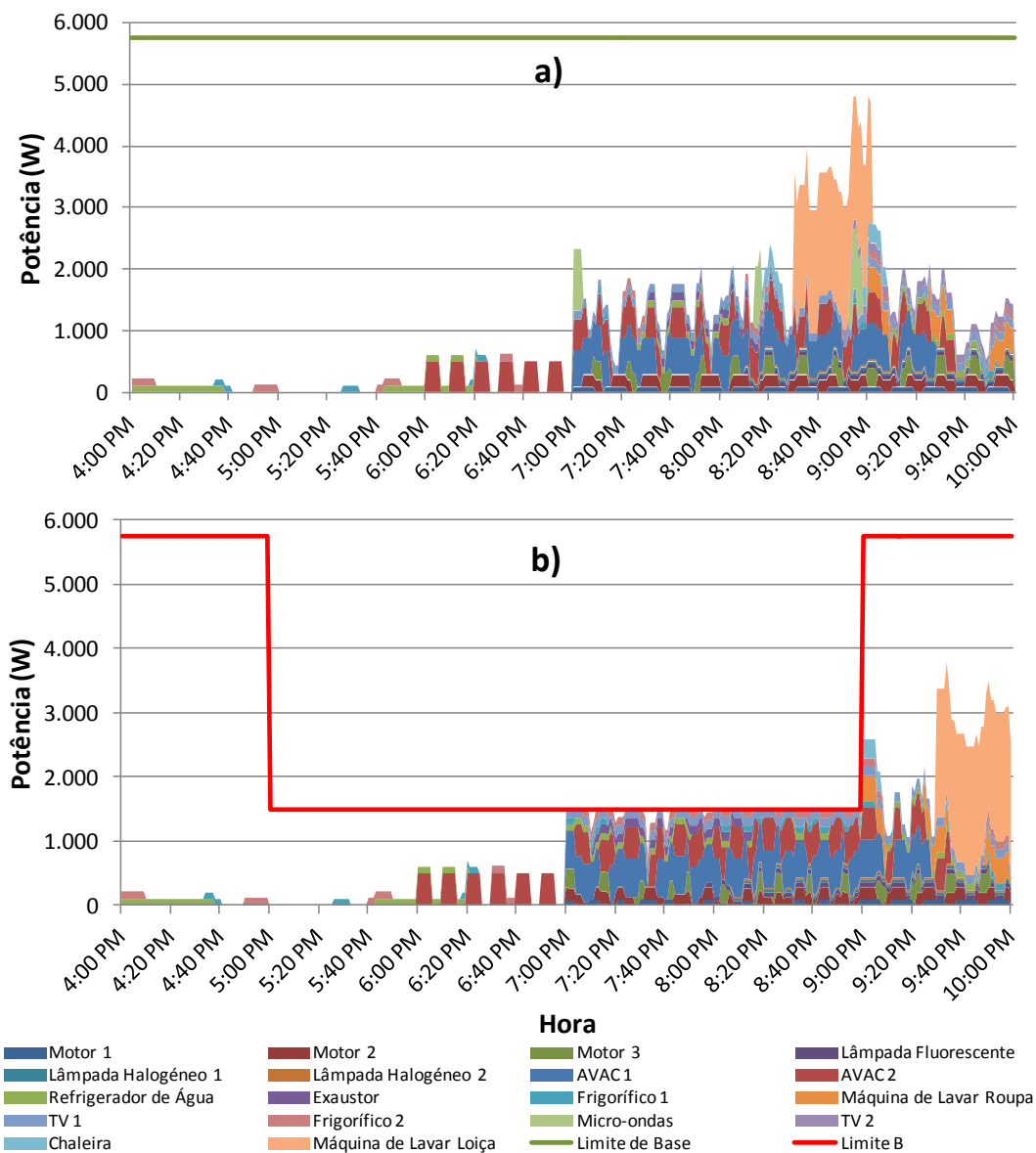


Figura 4.25 – Potência de consumo para cada carga no Cenário de Base (a) e no Cenário 4B com 240 minutos de evento de *Demand Response* (b).

Como é possível ver na Figura 4.25, o SHIM mantém o consumo de potência abaixo do limite imposto (1500 W) durante o evento de *Demand Response*. O perfil do utilizador altera significativamente às 7:00 PM devido à presença de pessoas na casa. O escalonamento da carga entre as 5:00 PM e as 7.00 PM não necessita de qualquer corte ou redução de carga. Contudo, entre as 7:00 PM e as 8:59 PM o SHIM precisa gerir eficazmente o corte de carga. O consumo das cargas aumenta e diminui, comparando com o Cenário de Base, como se pode ver com mais pormenor na Figura 4.26.

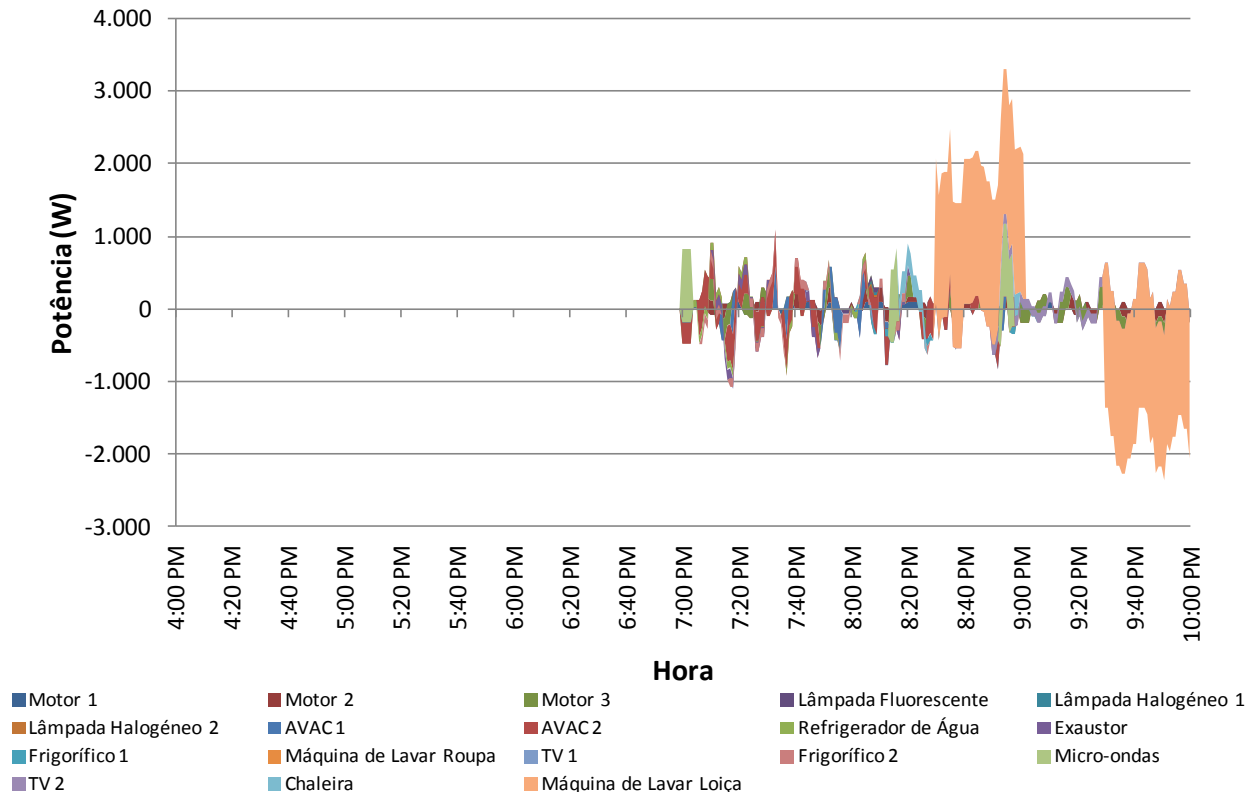


Figura 4.26 – Corte da potência de consumo para o Cenário 4B.

A Figura 4.27 apresenta alguns resultados para o Cenário 4B entre as 5:00 PM e as 8:59 PM, apresentado para isso a prioridade, o tempo ligado ou desligado e o consumo de potência para cada minuto. Neste caso, o tempo máximo ligado ou desligado em certos casos, não são mostrados devido ao elevado valor que os mesmos podem atingir (por exemplo, para valores maiores que 20 ou 40 minutos, dependendo do caso).

Na Figura 4.27 é possível ver a evolução da prioridade da carga para cada equipamento e também a potência consumida. A carga representada na Figura 4.27 a) é apenas ligada às 7:00 PM e a carga representada na Figura 4.27 b) é apenas ligada às 8:00 PM. Portanto, o fator da prioridade não é considerado na otimização. As diferenças entre as prioridades das cargas durante o evento são alteradas pelas mudanças de contexto do utilizador. Estas diferenças podem-se ver na Figura 4.27 c) e d) às 5:30 PM. Durante o evento de DR, a evolução das prioridades das cargas é similar ao Cenário 4A.

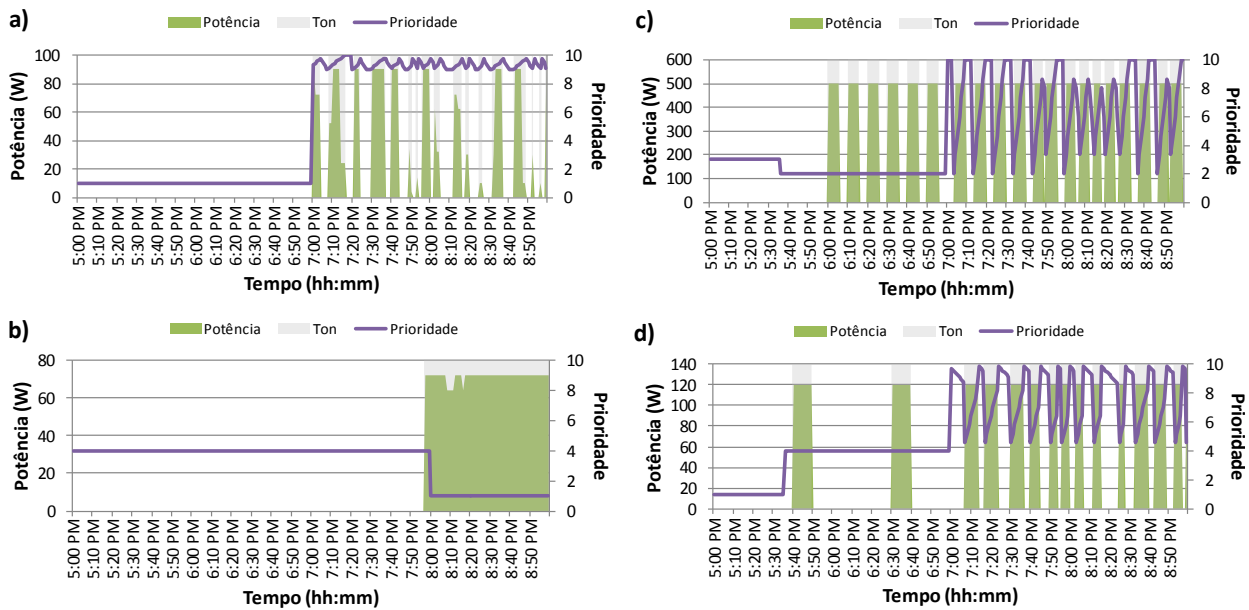


Figura 4.27 – Resultados das prioridades dinâmicas das cargas no evento de *Demand Response* do Cenário 4B para o motor 1 (a), a lâmpada fluorescente (b), o AVAC 2 (c) e o frigorífico 2 (d)

De acordo com a Figura 4.27 é importante analisar os resultados que dependem das características das cargas. A análise para cada prioridade da carga no Cenário 4B é:

- Motor 1 (ID 1): é apenas ligado às 7:00 PM e a prioridade está entre 9 e 10 para o evento de DR (nunca é exatamente 10). A duração do estado ligado ou do estado desligado depende do valor da prioridade das outras cargas (Figura 4.27 a) sendo que não tem um tempo de funcionamento constante;
- Lâmpada Fluorescente (ID 4): é apenas ligada próximo das 8:00 PM e a prioridade é constante devido às suas características. As lâmpadas podem estar sempre ligadas, não precisam ser desligadas como já indicado para o cenário anterior (Figura 4.27 b);
- AVAC 2 (ID 8): é uma carga constante somente quando o consumo total não precisa ultrapassar os 1500 W de limite sendo que está ligada por 6 minutos e desligada por 4 minutos entre as 5:00 PM e as 7:00 PM. A partir desse momento esta carga passa a estar condicionada pelo funcionamento de todas as outras cargas porque o consumo total já ultrapassa o limite. O fator da prioridade da carga muda rapidamente aproximando-se de 10 quando está ligada e de 2 quando está desligada (Figura 4.27 c);
- Frigorífico 2 (ID 14): o funcionamento desta carga é semelhante ao AVAC 2. Existe uma variação do estado ligado ou desligado que está dependente das prioridades de todas as outras cargas. Por exemplo, no momento das 8:20 PM é quando ocorre o maior tempo desligado depois das 7:00 PM tendo nesta altura outras cargas com mais prioridade (Figura 4.27 d).

4.6.5. Análise dos resultados do caso de estudo 4

O caso de estudo permite avaliar a metodologia proposta em dois cenários diferentes. No primeiro cenário, um evento de *Demand Response* de 30 minutos é considerado e no segundo cenário, um evento de 240 minutos. Em ambos os casos, o SHIM garante o limite de potência durante qualquer evento, para o caso 1500 W.

As principais mudanças verificadas são na máquina de lavar roupa. Este equipamento é adiado em ambos os cenários. Contudo, se o utilizador pretender usar esta carga durante o evento, o Sistema SHIM pode não manter o consumo de potência abaixo do limite. Outro aspeto importante é o uso da iluminação. Os utilizadores detetam facilmente as variações na iluminação. Na presente simulação, o SHIM não muda ou desliga as lâmpadas que estão inicialmente ligadas no Cenário 4A, e no Cenário 4B somente uma pequena variação é considerada por alguns minutos.

Apesar destas considerações, a metodologia apresenta bons resultados na gestão das cargas, principalmente nos eventos de DR de longa duração. Outro aspeto importante é que o limite de potência utilizado (1500 W) é extremamente difícil de garantir para a habitação em estudo, durante longos períodos, e em ambos os cenários simulados, o sistema garante esse limite de consumo.

4.7. Caso de estudo 5 – Método para análise eficiente da energia

Neste caso de estudo, o Sistema SHIM utiliza o módulo para a análise eficiente da utilização da energia num consumidor doméstico considerando para isso diferentes estratégias de gestão durante o consumo de energia elétrica. Nesta análise o sistema utiliza a metodologia apresentada na Secção 3.7. Duas estratégias foram aplicadas de modo a analisar a eficiência da utilização do SHIM num consumidor doméstico. Este caso de estudo apresentado foi publicado em [Fernandes, *et al.*-2013].

O caso de estudo considera o perfil de consumo de um consumidor doméstico entre o dia 1 de Junho e 30 de Junho de 2012. Os dados de consumo foram guardados na base de dados do SHIM. O preço de energia utilizado neste caso de estudo é o preço de energia praticada em Portugal no ano de 2012, para os consumidores domésticos. De acordo com os dados de consumo e o preço de energia, o caso de estudo avalia os benefícios económicos obtidos por duas diferentes estratégias de gestão.

4.7.1. Caracterização do consumidor doméstico

O consumidor doméstico analisado no caso de estudo diz respeito a um consumidor tipicamente português. O consumo total de energia dos 30 dias foi registado a cada minuto entre 1 de junho e 30 de junho de 2012 (Verão), no total de 43200 minutos (720 horas). O

consumidor doméstico considerado tem um contrato de energia de tarifa bi-horária. A energia consumida pelo consumidor doméstico para cada dia de junho de 2012 é apresentada na Figura 4.28:

- A energia diária medida corresponde aos dados de consumo guardados
- A energia diária com o SHIM corresponde à energia diária medida mais o consumo do *hardware* do SHIM

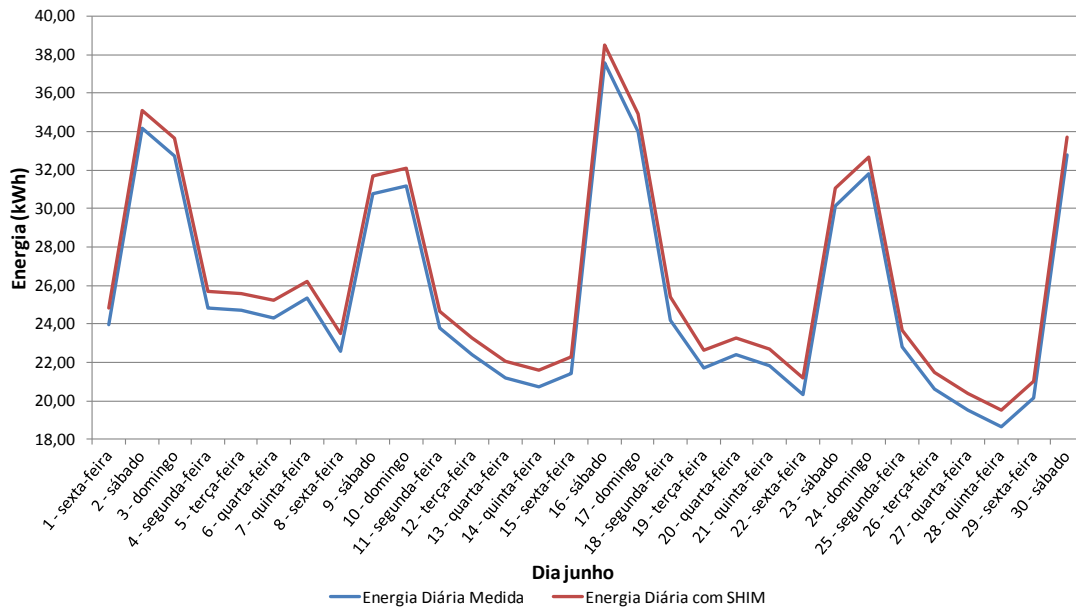


Figura 4.28 – Dados da energia durante os 30 dias de junho de 2012 para o consumidor doméstico.

Esta tarifa divide a hora do dia em dois períodos, o período fora de pico (0:00-07:59 AM e 10:00 - 11:59 PM) e o período de pico (08:00 AM às 9: 59 PM). O preço da energia é 0,0833 €/kWh para o período fora de pico e 0,1551 €/kWh para o período de pico. O consumo total nos 30 dias para o consumidor doméstico foi de 760,54 kWh de energia total, divididos em 498,63 kWh no período de pico e 261,92 kWh no período fora de pico. Os custos de consumo de energia foram 77,34 € no período de pico e 21,82 € no período fora de pico.

O consumidor doméstico tem um custo total de 99,16 € com o consumo de 760,54 kWh. Com a implementação do Sistema SHIM e não usando qualquer estratégia de gestão, o consumo total de energia aumenta para 789,51 kWh. Será neste caso importante realizar a estratégia de gestão da energia do Sistema SHIM.

4.7.2. Resultados obtidos – Estratégia 5A

Durante os 30 dias estudados, a Estratégia 5A aplica os seguintes limites de potência:

- Dias da semana: 1000 W, 2000 W e 3000 W;
- Dias de fim de semana: 3000 W, 4000 W e 9000 W.

Gestão Inteligente de uma Habitação considerando o Controlo de Cargas, de Microgeração e Veículos Elétricos em Função do seu Perfil de Utilização

Os limites de potência e as respetivas durações estão apresentados na Tabela 4.16. A Figura 4.29 e a Figura 4.30 mostram os resultados da potência de consumo com os respetivos limites de potência para o dia 9 de junho (sábado) e para o dia 14 de junho (quinta-feira), respetivamente. Ambos os resultados referem-se à Estratégia 5A.

Tabela 4.16 – Limites de potência e duração dos eventos na Estratégia 5A.

Hora		Semana		Fim de semana	
Inicial	Final	Limite de Potência (W)	Duração (Horas)	Limite de Potência (W)	Duração (Horas)
12:00 AM	07:59 AM	Fora de pico			
08:00 AM	08:59 AM	2000	2	9000	2
09:00 AM	09:59 AM				
10:00 AM	10:59 AM				
11:00 AM	11:59 AM			9000	1
12:00 PM	12:59 PM	2000	2	4000	2
01:00 PM	01:59 PM				
02:00 PM	02:59 PM				
03:00 PM	03:59 PM	1000	2	3000	2
04:00 PM	04:59 PM				
05:00 PM	05:59 PM				
06:00 PM	06:59 PM				
07:00 PM	07:59 PM	3000	2	3000	2
08:00 PM	08:59 PM				
09:00 PM	09:59 PM				
10:00 PM	11:59 PM	Fora de pico			

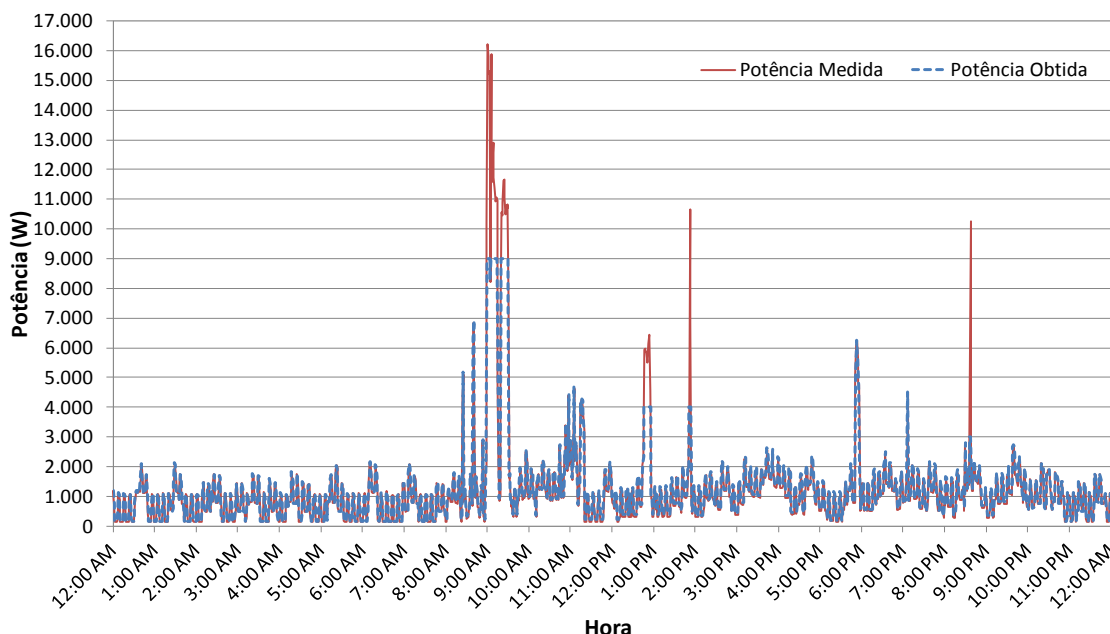


Figura 4.29 – Resultados da potência instantânea na Estratégia 5A no sábado dia 9 de junho de 2012.

Os resultados com detalhe da Estratégia 5A estão apresentados na Tabela 4.17 onde está apresentada a energia medida e o correspondente custo inicial, e a energia obtida e o correspondente custo final com os limites de potência.

Tabela 4.17 – Resultados diários da Estratégia 5A.

Dia	Energia Medida (kWh)	Energia Obtida 5A (kWh)	Custo Inicial (€)	Custo Final 5A (€)
1 – sexta-feira	23,93	23,62	3,04	2,99
2 – sábado	34,15	32,44	4,67	4,41
3 – domingo	32,71	31,17	4,45	4,21
4 – segunda-feira	24,83	24,55	3,11	3,07
5 – terça-feira	24,69	23,96	3,08	2,97
6 – quarta-feira	24,33	23,21	3,16	2,98
7 – quinta-feira	25,35	24,98	3,27	3,21
8 – sexta-feira	22,59	21,96	2,90	2,80
9 – sábado	30,77	29,73	4,22	4,06
10 – domingo	31,15	31,11	4,12	4,11
11 – segunda-feira	23,76	21,99	3,09	2,82
12 – terça-feira	22,40	22,13	2,85	2,80
13 – quarta-feira	21,18	21,27	2,61	2,62
14 – quinta-feira	20,72	21,30	2,57	2,66
15 – sexta-feira	21,42	21,12	2,71	2,67
16 – sábado	37,56	35,09	5,14	4,76
17 – domingo	34,02	32,16	4,63	4,34
18 – segunda-feira	22,35	22,37	2,80	2,80
19 – terça-feira	21,72	21,40	2,71	2,66
20 – quarta-feira	22,39	21,59	2,90	2,78
21 – quinta-feira	21,80	21,82	2,81	2,82
22 – sexta-feira	20,33	20,01	2,61	2,56
23 – sábado	30,15	29,25	4,13	3,99
24 – domingo	31,78	31,69	4,20	4,19
25 – segunda-feira	22,81	21,23	2,97	2,72
26 – terça-feira	20,61	20,54	2,62	2,61
27 – quarta-feira	19,49	19,74	2,40	2,44
28 – quinta-feira	18,64	19,34	2,32	2,42
29 – sexta-feira	20,14	20,01	2,55	2,53
30 – sábado	32,78	31,37	4,49	4,27
Total	760,54	742,11	99,16	96,30

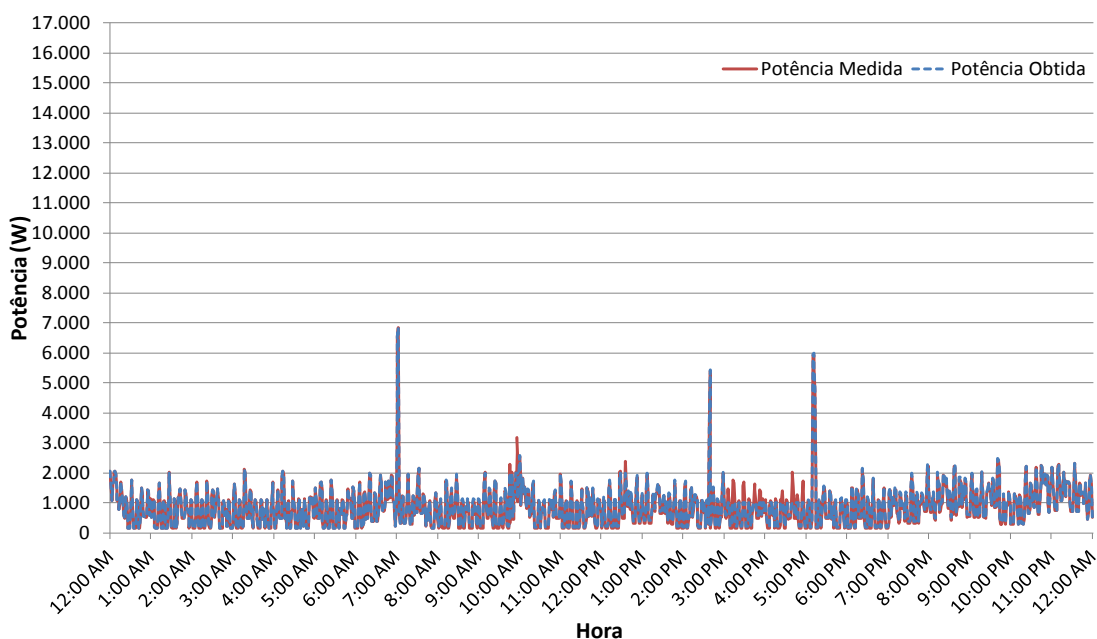


Figura 4.30 – Resultados da potência instantânea na Estratégia 5A na quinta-feira dia 14 de junho de 2012.

Os resultados mostram os benefícios económicos da implementação do Sistema SHIM usando a Estratégia 5A. O consumidor doméstico pode poupar 2,86 € (já incluindo o consumo do hardware do SHIM) com redução de 18,53 kWh na energia consumida.

4.7.3. Resultados obtidos – Estratégia 5B

Durante os 30 dias estudados, a Estratégia 5B aplica os seguintes limites de potência:

- Dias da semana: 1000 W, 2000 W e 3000 W;
- Dias de fim de semana: 3000 W e 8000 W.

Os limites de potência e as respetivas durações estão apresentados na Tabela 4.18. A Figura 4.31 e a Figura 4.32 mostram os resultados da potência de consumo com os respetivos limites de potência para o dia 9 de junho (sábado) e para o dia 14 de junho (quinta-feira), respetivamente. Ambos os resultados referem-se à Estratégia 5B.

Os resultados detalhados da Estratégia 5B estão apresentados na Tabela 4.19 onde está apresentada a energia medida e o correspondente custo inicial, e a energia obtida e o correspondente custo final com os limites de potência.

Os resultados mostram os benefícios económicos da implementação do Sistema SHIM usando a Estratégia 5B. O consumidor doméstico pode poupar 5,59 € (já incluindo o consumo do hardware do SHIM) com redução de 37,00 kWh na energia consumida.

Tabela 4.18 – Limites de potência e duração dos eventos na Estratégia 5B.

Hora		Semana		Fim de semana	
Inicial	Final	Limite de Potência (W)	Duração (Horas)	Limite de Potência (W)	Duração (Horas)
12:00 AM	07:59 AM	Fora de pico			
08:00 AM	08:59 AM	2000	2	8000	4
09:00 AM	09:59 AM				
10:00 AM	10:59 AM				
11:00 AM	11:59 AM	1000	2		
12:00 PM	12:59 PM	2000	2	3000	2
01:00 PM	01:59 PM				
02:00 PM	02:59 PM				
03:00 PM	03:59 PM	1000	3	3000	2
04:00 PM	04:59 PM				
05:00 PM	05:59 PM				
06:00 PM	06:59 PM	2000	2		
07:00 PM	07:59 PM	3000	3	3000	3
08:00 PM	08:59 PM				
09:00 PM	09:59 PM				
10:00 PM	11:59 PM	Fora de pico			

Tabela 4.19 – Resultados diários da Estratégia 5B.

Dia	Energia Medida (kWh)	Energia Obtida 5B (kWh)	Custo Inicial (€)	Custo Final 5B (€)
1 – sexta-feira	23,93	23,10	3,04	2,91
2 – sábado	34,15	31,81	4,67	4,31
3 – domingo	32,71	30,59	4,45	4,12
4 – segunda-feira	24,83	23,27	3,11	2,87
5 – terça-feira	24,69	23,46	3,08	2,89
6 – quarta-feira	24,33	22,90	3,16	2,93
7 – quinta-feira	25,35	23,80	3,27	3,03
8 – sexta-feira	22,59	21,34	2,90	2,70
9 – sábado	30,77	29,15	4,22	3,97
10 – domingo	31,15	29,15	4,12	3,97
11 – segunda-feira	23,76	21,08	3,09	2,68
12 – terça-feira	22,40	21,22	2,85	2,66
13 – quarta-feira	21,18	20,82	2,61	2,55
14 – quinta-feira	20,72	20,69	2,57	2,57
15 – sexta-feira	21,42	20,95	2,71	2,64
16 – sábado	37,56	34,39	5,14	4,65
17 – domingo	34,02	31,57	4,63	4,25
18 – segunda-feira	22,35	21,39	2,80	2,65
19 – terça-feira	21,72	21,14	2,71	2,62
20 – quarta-feira	22,39	21,43	2,90	2,76
21 – quinta-feira	21,80	21,07	2,81	2,70
22 – sexta-feira	20,33	19,61	2,61	2,49
23 – sábado	30,15	28,67	4,13	3,90
24 – domingo	31,78	31,65	4,20	4,18
25 – segunda-feira	22,81	20,41	2,97	2,60
26 – terça-feira	20,61	19,84	2,62	2,50
27 – quarta-feira	19,49	19,42	2,40	2,39
28 – quinta-feira	18,64	18,94	2,32	2,36
29 – sexta-feira	20,14	19,93	2,55	2,52
30 – sábado	32,78	30,76	4,49	4,18
Total	760,54	723,54	99,16	93,57

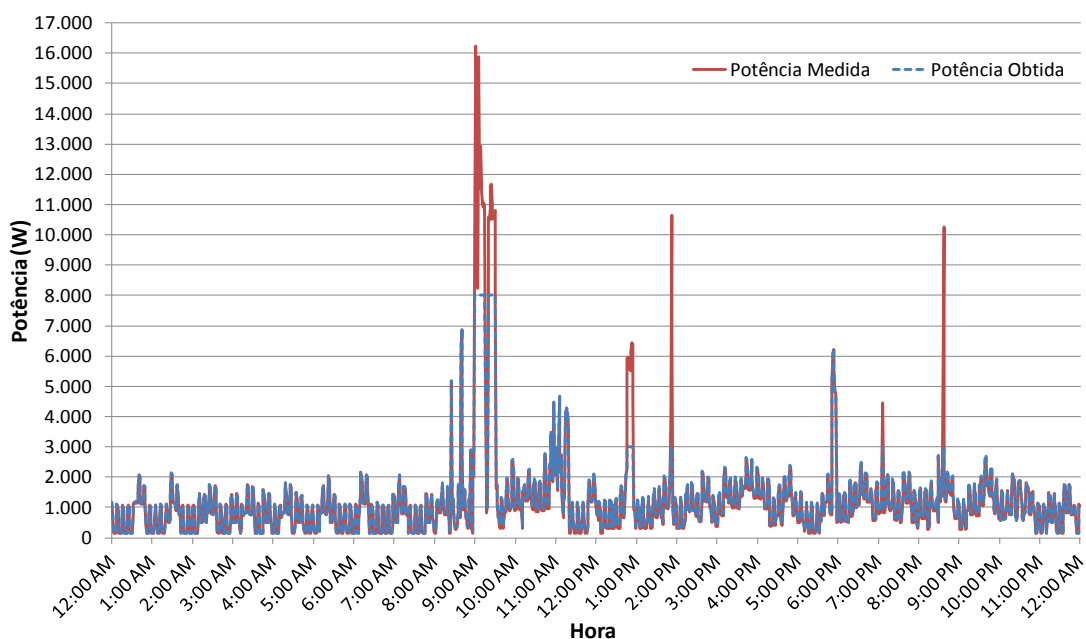


Figura 4.31 – Resultados da potência instantânea na Estratégia 5B no sábado dia 9 de junho de 2012.

Gestão Inteligente de uma Habitação considerando o Controlo de Cargas, de Microgeração e Veículos Elétricos em Função do seu Perfil de Utilização

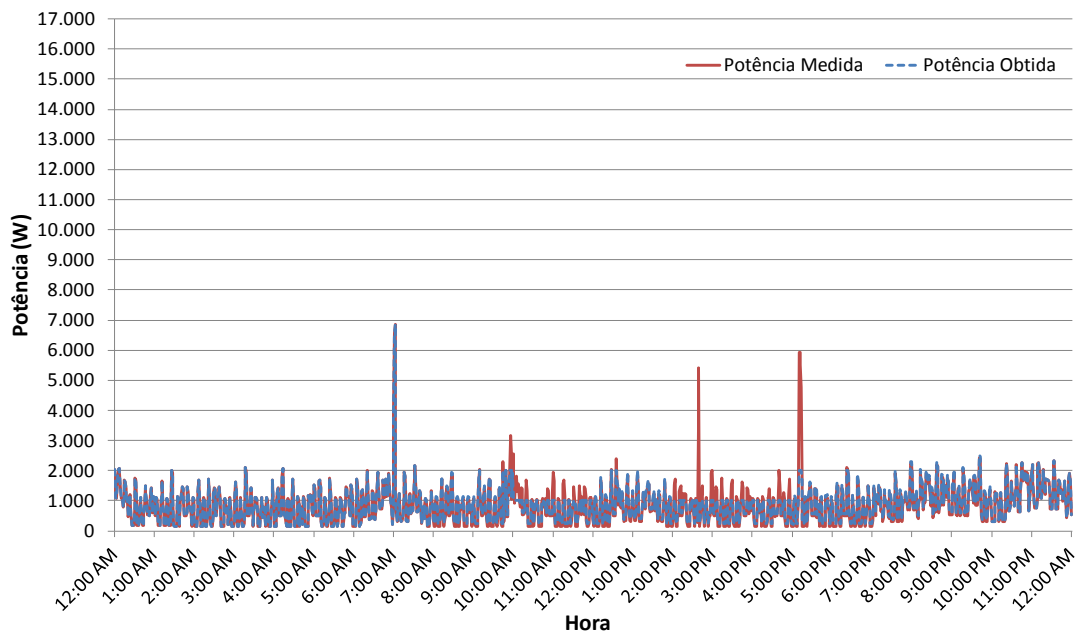


Figura 4.32 – Resultados da potência instantânea na Estratégia 5B na quinta-feira dia 14 de junho de 2012.

4.7.4. Análise da poupança de energia nas duas estratégias

Com o intuito de comparar as duas estratégias, a Figura 4.33 mostra o consumo de energia efetivamente medido e o consumo de energia obtido usando as Estratégias 5A e 5B. Nesta figura é possível ver que na maioria dos dias o Sistema SHIM permite reduzir o consumo de energia, exceção para alguns dias específicos.

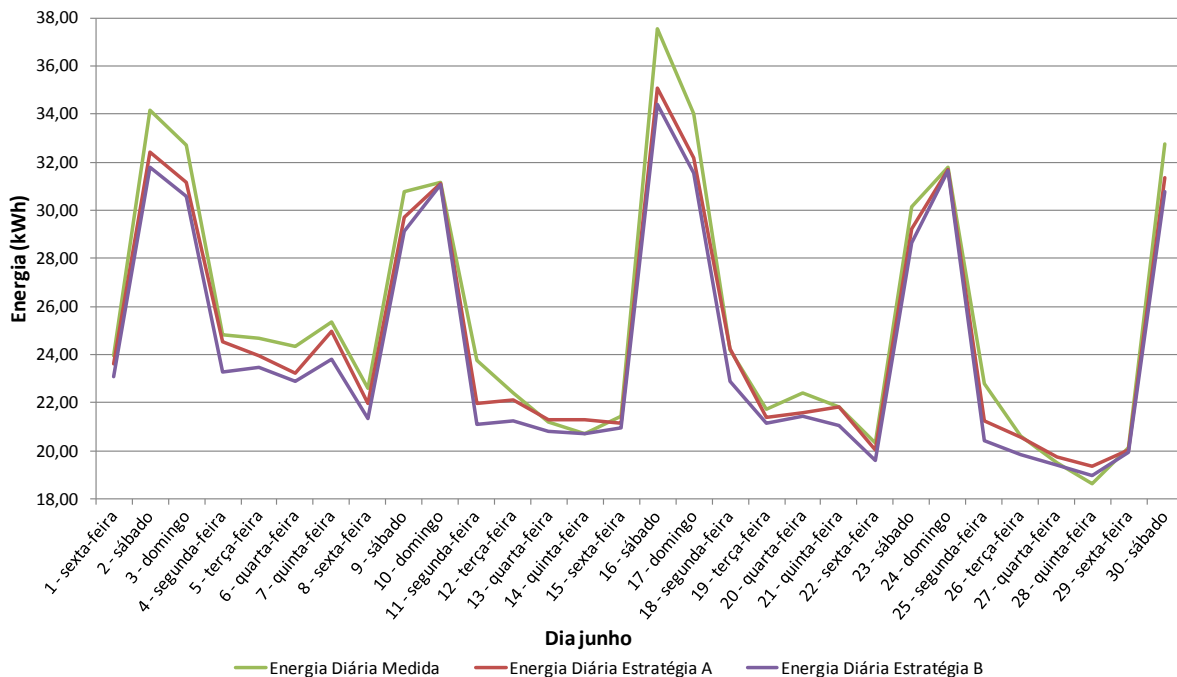


Figura 4.33 – Dados de energia durante os 30 dias com as estratégias aplicadas.

No dia 28 (quinta-feira), a energia obtida com ambas as estratégias é maior do que a energia medida, isto é, a energia reduzida usando os limites de potência necessários é

menor do que a energia consumida pelo *hardware* do SHIM durante o dia. A Figura 4.34 mostra a energia para todas as situações do dia 28 e a Figura 4.35 mostra os resultados da potência para a Estratégia 5A nas horas de pico.

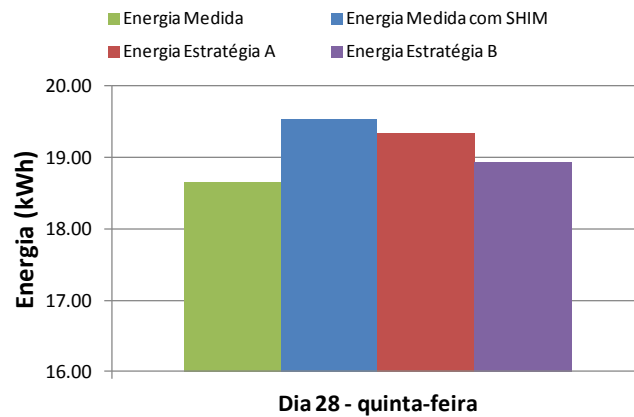


Figura 4.34 – Resultados da energia no dia sem redução de consumo (28 – quinta-feira).

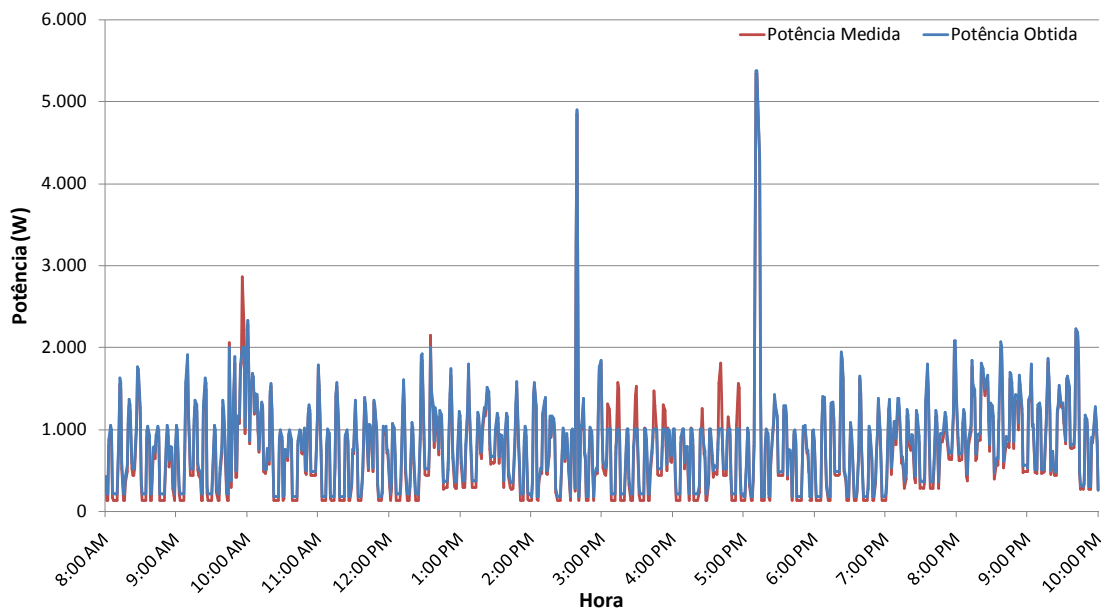


Figura 4.35 – Resultados da potência na Estratégia 5A nas horas de pico do dia 28 (quinta-feira).

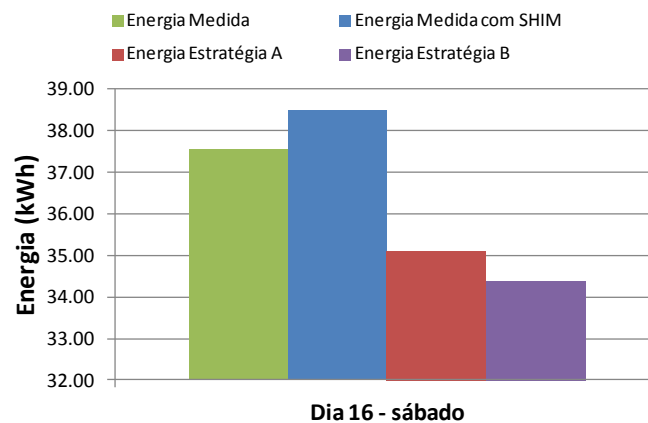


Figura 4.36 – Resultados da energia no dia com maior economia de energia (16 – sábado).

O dia 16 (sábado) apresenta a maior poupança de energia de todos os 30 dias considerados para ambas as estratégias. A Figura 4.36 mostra a energia para todas as situações desse dia.

Analisando os valores obtidos é possível constatar ganhos significativos na utilização do SHIM, validando por isso os métodos desenvolvidos. No entanto, o próprio sistema tem um consumo elevado limitando os ganhos obtidos. Este consumo é repartido pelos diversos componentes do sistema, sendo o painel tátil o elemento que mais contribui, uma vez que é parte de um computador industrial. No entanto outras soluções deverão ser estudadas com o intuito de limitar o consumo energético do próprio SHIM.

4.7.5. Análise económica aplicando o módulo do SHIM

Usando o Sistema SHIM, com limites de consumo de energia estrategicamente escolhidos para cada contexto específico, há uma redução no consumo de energia e, por conseguinte, uma redução do custo total de energia. Os benefícios económicos podem ser maiores ou menores, dependendo dos limites de potência utilizados, do contrato de energia e dos níveis de conforto adotados pelo consumidor doméstico.

A Tabela 4.20 resume a poupança económica obtida nos custos da potência contratada e nos custos da potência consumida para as duas estratégias consideradas. Inicialmente o consumidor doméstico tem uma potência contratada de 17,25 kVA que corresponde a um custo de 24,36 €/mês.

Tabela 4.20 – Poupança económica no consumo da potência e na potência contratada.

Potência Contratada				
Dados	Potência (kVA)	Preço (€/mês)	Total de Meses	Custo Total (€)
Medido	17,25	24,36	1	24,36
Estratégia 5A	13,80	19,60	1	19,60
Estratégia 5B	10,35	14,85	1	14,85
Contrato da Energia Ativa				
Dados	Período	Preço (€/kWh)	Energia Total (kWh)	Custo Período (€)
Medido	Fora do pico	0,0833	261,92	21,82
	Pico	0,1551	498,63	77,34
Estratégia 5A	Fora do pico	0,0833	261,92	21,82
	Pico	0,1551	480,19	74,48
Estratégia 5B	Fora do pico	0,0833	261,92	21,82
	Pico	0,1551	463,56	71,90

A implementação do SHIM permite ao consumidor doméstico reduzir o valor da sua potência contratada. Adotando a Estratégia 5A, o consumidor doméstico pode reduzir a potência contratada para 13,80 kVA que corresponde a 19,60 €/mês, poupando 4,76

€/mês. Com a Estratégia 5B, o consumidor doméstico pode reduzir a potência contratada para 10,35 kVA que corresponde a 14,85 €/mês poupando 9,51 €/mês.

Considerando a redução do consumo de energia e a redução do contrato de energia, o total de benefícios económicos obtidos pelo consumidor doméstico tem mais impacto. A Tabela 4.21 resume os benefícios económicos resultantes das duas estratégias consideradas em comparação com os custos iniciais do consumidor doméstico.

Tabela 4.21 – Total de custos para o consumidor doméstico.

Dados	Custo Potência Contratada (€)	Custo Energia Ativa (€)	Custo Total (€)
Medido	24,36	99,16	123,52
Estratégia 5A	19,60	96,30	115,90
Estratégia 5B	14,85	93,72	108,57

O consumidor doméstico pode poupar dinheiro com ambas as estratégias mas a Estratégia 5B obtém maior poupança. Os resultados mostram que com a Estratégia 5A o consumidor doméstico pode poupar 7,62 €, por outro lado, com a Estratégia 5B pode poupar, mensalmente, cerca de 14,65 €, isto é, o consumidor poupa mais 7,33 € com a Estratégia 5B. Deste modo, com a Estratégia 5B, o consumidor doméstico tem cerca do dobro da poupança comparada com a Estratégia 5A.

Usando a Estratégia 5B, o consumidor doméstico tem poupanças económicas mais elevadas, mas com menos conforto. Com Estratégia 5A, o consumidor doméstico tem menos benefícios económicos, porém com maior conforto. Decidir sobre a estratégia de gestão mais adequada depende das características do consumidor doméstico e seus objetivos relativos ao uso de energia.

4.7.6. Análise dos resultados do caso de estudo 5

A aplicação do SHIM no consumidor doméstico permite a redução do consumo total e da potência contratada com o objetivo principal de reduzir os custos com a energia. Para isso o método de análise de eficiência energética de um consumidor doméstico implementado no SHIM permite ao consumidor dinamizar estratégias de consumo reduzindo o consumo energético e consequentemente, reduzindo os custos. A utilização de dados reais de um mês completo permitiu demonstrar os benefícios económicos com a implementação do SHIM. Os benefícios da utilização do Sistema SHIM e do módulo de eficiência são apresentados de seguida:

- Implementação de uma interface no Sistema SHIM considerando a gestão das cargas e o módulo de eficiência;
- O módulo de economia e eficiência do interface do Sistema SHIM é integrado no consumidor doméstico em tempo real;

- O método implementado pode melhorar a eficiência de funcionamento levando a poupanças económicas;
- A nova funcionalidade do Sistema SHIM apoia o consumidor doméstico em duas perspetivas, primeiro para reduzir o consumo de energia, e segundo para reduzir a potência contratada de modo a garantir maior benefício económico.

4.8. Conclusões

Esta subsecção apresenta as principais conclusões dos casos de estudo apresentados. Os casos de estudo foram desenvolvidos de forma a mostrar as principais funcionalidades implementadas no Sistema SHIM, abordando diferentes situações a que os consumidores domésticos podem estar sujeitos, dependendo diretamente dos recursos de energia utilizados e das características dos eventos de gestão que podem ocorrer num consumidor doméstico.

Na primeira subsecção do capítulo foram apresentadas as características dos diversos recursos de energia que podem ser utilizados num consumidor doméstico. As características individuais das cargas são importantes para perceber o comportamento individual de cada uma e posteriormente, numa análise mais global, perceber qual o seu impacto no consumo total de um consumidor doméstico. Nesse sentido, é necessário perceber também a influência que as diferentes características gerais dos consumidores domésticos têm no consumo total da instalação. Por exemplo, o número de pessoas influencia muito o perfil de consumo que a habitação apresenta. Também é importante analisar o perfil da produção instantânea das tecnologias renováveis quando estão ligadas diretamente ao sistema elétrico do consumidor doméstico e ver qual o impacto que podem ter na gestão da energia do consumidor.

Na análise dos perfis individuais de algumas cargas, pode-se concluir que o frigorífico é uma carga que deve ser considerada como permanente mas que faz a sua própria gestão de acordo com a temperatura sentida no seu interior. No final das 24 horas, este tipo de carga pode apresentar o maior consumo de energia do consumidor doméstico. O micro-ondas é uma carga importante no consumo instantâneo da habitação quando está em funcionamento. No entanto esta carga tem, geralmente, curta duração pois normalmente tem um perfil de utilização de poucos minutos ou mesmo segundos e tem um impacto elevado no conforto do utilizador. Os fatores que influenciam o consumo do micro-ondas são o modo de funcionamento e o intervalo de tempo que o utilizador pretende quando liga o micro-ondas. Apesar da sua elevada potência de consumo, no final das 24 horas não apresenta um consumo elevado de energia devido às poucas vezes em que é ligado mas origina picos de consumo.

O sistema AVAC é uma carga que deve ser considerada como permanente. A sua gestão depende diretamente da temperatura pretendida pelo utilizador no interior da sala e também de outros fatores. Esta é uma carga com um consumo considerável no consumo total do consumidor doméstico principalmente se for utilizada com grande regularidade. No caso apresentado, para a refrigeração do espaço, o consumo já é significativo, mas no caso de aquecimento do espaço, o AVAC apresenta consumos ainda mais elevados. A máquina de lavar roupa é uma carga que deve ser considerada como não prioritária na gestão inteligente do consumidor doméstico porque na necessidade de limitar a potência total, esta carga pode ficar em espera para quando o limite deixe de existir, ou por exemplo, quando a energia elétrica for mais barata. A sua gestão depende diretamente do programa que o utilizador pretende utilizar, da temperatura da água que pretende, da quantidade da roupa que necessita lavar, do tipo de roupa que vai lavar, entre outros. Esta é uma carga, que quando ligada, pode ter consumo considerável no consumo total do consumidor doméstico, principalmente na parte inicial da lavagem.

Na análise dos perfis dos consumidores foram analisados quatro conjuntos de dados tendo em consideração medições efetuadas em quatro consumidores reais. No consumidor A é muito difícil fazer comparação ou distinção entre os dias da semana e os dias de fim de semana. Por exemplo, o dia de sábado tem muitas semelhanças com o dia de segunda-feira, e o dia de domingo com o de terça-feira. As semelhanças entre os dias da semana encontram-se nas horas do final do dia onde se inclui o jantar. O resto do consumo é muito semelhante ao de terça-feira e também ao domingo. No consumidor B, de salientar que o consumidor tem um perfil que parece muito constante ao longo dos dias, sendo que a carga que contribui para esse consumo é o frigorífico. Contudo, no dia 9, terça-feira, entre as 3:00 PM e as 7:00 PM algo aconteceu para o consumo estar praticamente a zero, sem nenhuma alteração durante esse período, muito provavelmente o frigorífico esteve sempre desligado por ordem do utilizador.

No consumidor C, os dias da semana apresentados são muito semelhantes mas o dia de sexta-feira apresenta uma diferença em relação a qualquer outro dia da semana. Isto porque também tem maior consumo na hora do almoço onde algum dos utilizadores regressou a casa para almoçar. Nos dias da semana, os perfis apresentados são semelhantes, com alguns picos de consumo distintos no tempo. O dia de sábado apresenta maior consumo durante a tarde do que qualquer um dos outros dias apresentados, sendo que os dias da semana apresentam maior consumo durante as madrugadas devido ao aquecimento que não é utilizado durante os fins de semana. O domingo é o dia que tem menor consumo dos 4 apresentados. No consumidor D, a grande diferença apresentada nos perfis de consumo para o horário de verão e de inverno do consumidor prende-se com a utilização do aquecimento durante as madrugadas dos dias de inverno. As restantes cargas são semelhantes para os dois horários dependendo do momento em que o utilizador

necessita de utilizar esta ou aquela carga. Sendo que também existe semelhança por exemplo com as horas de almoço e de jantar.

Em muitos trabalhos de análise e gestão dos consumos, os trabalhos desenvolvidos separam o perfil de consumo da semana e do fim de semana. Nestas conclusões, pode ou não existir muita semelhança entre os dias da semana e do fim de semana, não fazendo muito sentido a divisão referida. No entanto a amostra deverá ser alargada a um conjunto significativo de consumidores e a um número superior de dias de forma a fundamentar mais consistentemente esta conclusão.

Na análise dos perfis das unidades de produção, o sistema fotovoltaico, no verão, tem um intervalo de tempo de produção de 14 horas aproximadamente, dependendo muito das nuvens que se fazem sentir. No inverno é evidente o menor tempo de produção durante um dia sendo que o sistema começa a funcionar aproximadamente às 8:00 AM até às 5:00 PM (9 horas aproximadamente). Os dois dias apresentados para ambas as estações são distintos, um dos dias tem bastantes nuvens e por isso uma produção bastante baixa, enquanto que o outro dia representa um dia com sol e conseqüentemente com uma produção mais elevada.

Tendo em consideração os perfis apresentados e a plataforma de simulação do LASIE foram elaborados cinco casos de estudo. O primeiro caso de estudo refere-se à metodologia desenvolvida no SHIM para a gestão de consumidores domésticos que contenham somente cargas no seu sistema elétrico. A metodologia proposta foi validada usando para isso um cenário com três etapas apresentadas através de um *testbed* de laboratório que simula um consumidor doméstico com o SHIM. Na etapa inicial todas as cargas estão ligadas. Após a ativação de um evento que limita o consumo a 1,0 kW, apenas 5 cargas se mantiveram ligadas após o processo de otimização. Após um primeiro evento, o utilizador ligou cargas que tinham sido desligadas pelo SHIM. No processo de otimização após o segundo evento as cargas acionadas pelo utilizador não são consideradas. Apesar do número de cargas incluídas no processo de otimização, foi possível garantir o limite de potência. Por fim, o utilizador liga novamente uma carga existindo por isso um novo evento e uma nova otimização. Neste caso o processo de otimização não conseguiu garantir o limite de potência imposto porque o consumo das cargas que foram forçadas a ligar pelo utilizador foi maior do que o próprio limite. Deste modo, o sistema informa o utilizador de que não poderá garantir o limite de consumo imposto. Um dos resultados mais importantes do primeiro caso de estudo está diretamente relacionado com a interação do utilizador com o sistema de gestão. Esta interação é automaticamente tida em consideração pelo Sistema SHIM, originando novas soluções de gestão da energia, respeitando as preferências que os utilizadores mostram através do próprio comportamento.

O segundo caso de estudo refere-se à metodologia desenvolvida no Sistema SHIM para a gestão de consumidores domésticos que considerem a utilização de cargas e de veículos elétricos. De acordo com os resultados é possível verificar que os veículos têm participação direta e um impacto significativo na gestão do consumo. A aquisição de dados do SHIM permite conhecer as necessidades dos utilizadores em tempo real de modo a garantir os requisitos dos eventos de *Demand Response*. Com este caso de estudo é possível concluir que a metodologia desenvolvida pode ser adaptada para cada tipo de consumidor final e para uma quantidade de recursos de energia significativa, sendo que cada Sistema SHIM dos consumidores é capaz de ser adaptado às condições atuais durante o dia todo com ou sem a presença de veículos. Também neste caso de estudo, a inclusão de veículos no SHIM dos consumidores torna possível garantir o conforto dos utilizadores através da descarga de energia armazenada nas baterias, tornando o sistema mais flexível. A inclusão de veículos elétricos cria, virtualmente, dois recursos adicionais, pois pode-se reduzir o consumo total da habitação diminuindo a carga dos veículos ou aumentando a descarga da energia armazenada nas suas baterias.

O terceiro caso de estudo refere-se à metodologia desenvolvida no Sistema SHIM para a gestão de consumidores domésticos que considerem a utilização de cargas, de veículos elétricos e de produção distribuída. De acordo com os resultados, o SHIM provou ser capaz de gerir adequadamente os recursos energéticos da casa em situações com excesso de vento, até mesmo para cenários com relativamente baixo consumo. O sistema tem a capacidade para lidar com a gestão da energia de um consumidor doméstico em tempo real. O uso dos veículos, mais uma vez, é bastante relevante para lidar com este tipo de situações, pois mostram a importância dos veículos, permitindo o uso mais intensivo da produção de energia elétrica através da energia renovável. Outra forma de o SHIM ter capacidade para garantir o balanço de potência, é a utilização de recursos de produção de energia que permitem o seu controlo, isto é, permitir a redução da produção quando necessário. A microgeração é um exemplo de unidades que permitem a regulação da sua produção. Tudo depende sempre das prioridades definidas no sistema para os diferentes contextos. Em cenários de excesso de vento onde não existe forma de aumentar o consumo ou reduzir a produção na microgeração, a medida a tomar será fornecer energia à rede (se possível) ou desligar a própria produção eólica.

O quarto caso de estudo refere-se à metodologia implementada no Sistema SHIM para a gestão da energia de um consumidor doméstico ao longo de eventos de *Demand Response* com curta ou longa duração. O caso de estudo permitiu avaliar a metodologia proposta em dois cenários diferentes e em ambos os casos, o SHIM garante o limite de potência durante os eventos. Neste sentido, a metodologia apresenta bons resultados na gestão das cargas, principalmente nos eventos de DR de longa duração. Outro aspeto importante é que o baixo limite de potência utilizado é extremamente difícil de garantir,

durante longos períodos, e em ambos os cenários simulados, o sistema garante esse limite de consumo.

O quinto caso de estudo refere-se à metodologia desenvolvida num dos módulos do Sistema SHIM para a análise eficiente da energia. Com este caso de estudo foi possível concluir que a aplicação do SHIM no consumidor doméstico permite a redução do consumo total e da potência contratada tendo como principal consequência a redução dos custos energéticos. Para isso o método de análise eficiente da energia de um consumidor doméstico implementado no SHIM permite ao consumidor dinamizar estratégias de redução de consumo em diversas situações, e consequentemente, reduzir os seus custos. A utilização de dados reais de um mês completo permitiu demonstrar os benefícios económicos com a implementação do SHIM.

Os resultados apresentados nos casos de estudo demonstram a utilidade das metodologias desenvolvidas sendo elas adaptáveis para diferentes tipos de contextos, garantindo também a gestão de diferentes tipos de recursos de energia. Os benefícios económicos com a implementação do Sistema SHIM e as vantagens na gestão da energia elétrica, quer para o consumidor doméstico, quer para a rede elétrica, justificam a utilização das metodologias desenvolvidas.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

5.1. Principais conclusões e contribuições

A gestão dos recursos energéticos dos consumidores domésticos assume uma importância significativa na gestão geral do sistema elétrico no paradigma das *Smart Grids*. Particularmente permite obter benefícios quer para o consumidor doméstico quer para a rede elétrica, através da gestão eficiente de energia.

O trabalho desta dissertação foca-se na conceção, desenvolvimento e validação de metodologias de gestão inteligente de energia a serem implementadas em consumidores domésticos no âmbito de operação das *Smart Grids*. Neste contexto, os sistemas de gestão de energia utilizados nas habitações estão cada vez mais complexos considerando diferentes recursos de energia, tornando eminente a necessidade de desenvolvimento de metodologias capazes de agregar todos esses recursos de modo a obter uma gestão de energia mais eficaz e eficiente. As metodologias propostas nesta dissertação têm como objetivo obter a melhor gestão dos recursos energéticos de acordo com as necessidades dos utilizadores, o contexto do dia e as necessidades da rede elétrica. As metodologias propostas na dissertação foram implementadas na plataforma de simulação de um sistema de gestão de energia de um consumidor doméstico, o sistema *SCADA House Intelligent Management (SHIM)*.

A conceção, desenvolvimento e implementação de uma plataforma de simulação de um sistema de gestão de energia de um consumidor doméstico é a principal contribuição desta dissertação. O sistema destaca-se pela implementação de modelos abrangentes com capacidade de gestão dinâmica dos recursos energéticos. Estes modelos permitem obter uma melhor performance do sistema global durante eventos de *Demand Response*, bem como, garantir níveis adequados de conforto do consumidor durante eventos de curto e longo tempo de duração. Além disso, os modelos incluem a possibilidade de interação do utilizador durante o evento que limita a potência consumida.

Diversas metodologias foram implementadas considerando utilizadores com diferentes recursos nas suas habitações, nomeadamente, cargas (3.3), cargas e veículos elétricos (3.4), e por fim, cargas, veículos elétricos e produção distribuída (3.5). Especificamente para o caso de sistemas que controlam apenas cargas foi proposto um modelo que altera os índices de conforto inerentes a cada equipamento não só em função das preferências dos utilizadores mas também das características técnicas de funcionamento dos equipamentos (3.6).

Dos modelos desenvolvidos é importante referir a flexibilidade proporcionada pela gestão de veículos elétricos. Os veículos elétricos têm características distintas no modelo de otimização devido aos dois modos de funcionamento, a carga e a descarga de energia. A

metodologia inclui prioridades para cada modo de funcionamento do veículo elétrico. A principal contribuição desta metodologia é a inclusão da capacidade de descarga dos veículos elétricos que pode permitir a continuidade das cargas que estão ligadas. Por outro lado, e não menos importante, permite balançar a intermitência de produção característica das unidades de microgeração baseadas em recursos naturais (eólica e solar fotovoltaica). Este aspeto é ainda mais importante se o consumidor não tiver contrato para venda de energia à rede elétrica.

Para além dos modelos de gestão, foi implementado um modelo para a análise da eficiência do consumo energético de uma habitação quando o Sistema SHIM é utilizado. O principal contributo do modelo reside na capacidade de demonstrar os benefícios económicos com a aplicação de métodos de otimização no consumidor doméstico aquando da existência de eventos de *Demand Response*. Numa análise mais alargada, este modelo permite quantificar a poupança energética e a redução da fatura energética proporcionada pelo SHIM.

Todos os modelos simulados para a otimização de energia do consumidor foram desenvolvidos usando a ferramenta de otimização *General Algebraic Modeling System (GAMS)* com base no modelo de abordagem de otimização determinística (*Mixed-Integer Non-Linear Programming – MINLP*). Para a interação dos métodos de otimização com os recursos reais do Laboratório de Sistemas Inteligentes de Energia (LASIE) foi usado o *software* MOVICON. Este *software* permitiu a construção de estruturas *Human Machine Interface (HMI)* de modo a serem implementadas na plataforma do sistema de gestão (SHIM). Todas as metodologias propostas e implementadas e a plataforma do Sistema SHIM foram incluídas no simulador *Multi-Agent Smart Grid Simulation Platform (MASGriP)*. MASGriP é uma plataforma de simulação de *Smart Grids* baseado num sistema multiagente. As metodologias desenvolvidas nesta dissertação são funcionalidades adicionais para o MASGriP na gestão de energia e simulação dos consumidores domésticos.

Vários cenários foram implementados nos casos de estudo sobre as metodologias desenvolvidas para o SHIM. Os cenários incluem as características de diferentes consumidores domésticos considerando vários recursos energéticos, como os veículos elétricos e os sistemas de microprodução. Este conjunto de cenários permite testar e validar as metodologias desenvolvidas e demonstram a sua aplicabilidade e as vantagens e desvantagens dos modelos propostos. Um dos resultados mais importantes relaciona a interação do utilizador com o sistema de gestão. Esta interação é automaticamente tida em consideração pelo SHIM, originando novas soluções de gestão de energia, respeitando as preferências que os utilizadores mostram através do próprio comportamento.

Neste contexto, as metodologias desenvolvidas podem ser adaptadas para cada tipo de consumidor final e para uma considerável quantidade de recursos energéticos. A presença de veículos elétricos pode garantir o conforto dos utilizadores domésticos pois

permitem, através da descarga de energia, a continuidade de outras cargas que poderiam ser desligadas. Outra forma de o SHIM ter capacidade para garantir o balanço de potência, é através da utilização de recursos de produção de energia que permitem o seu controlo como as unidades de cogeração, isto é, permitir a redução na produção em momentos necessários dependendo da prioridade do contexto.

Os resultados apresentados nos casos de estudo demonstram a utilidade das metodologias desenvolvidas sendo elas adaptáveis para diferentes tipos de contextos, garantindo também a gestão de diferentes tipos de recursos de energia. Os benefícios económicos com a implementação do SHIM e as vantagens na gestão de energia elétrica, quer para o consumidor doméstico, quer para a rede elétrica (operador de sistema e agregador de recursos), justificam a utilização das várias metodologias. Com a gestão inteligente de energia nos consumidores domésticos é possível garantir uma otimização na utilização da energia, obtendo vários benefícios em diferentes perspetivas, por exemplo, quando ocorre excesso de produção na energia eólica ou quando o excesso de consumo ultrapassa limites que sejam impostos em diversas situações, sendo os veículos elétricos recursos de energia importante nos mais variados contextos de operação.

Apesar da pertinência e eficácia dos modelos desenvolvidos, é importante ressaltar que os benefícios proporcionados, quer ao nível do consumo energético como da redução da respetiva fatura são fortemente condicionados pelo consumo energético do próprio sistema. Por outro lado, estes benefícios são tanto maiores quanto maior for o número de recursos a controlar, principalmente, se forem incluídos veículos elétricos e unidades de microgeração. Outro aspeto importantíssimo, para potenciar o desenvolvimento dos modelos propostos é a utilização efetiva de programas de *Demand Response* por parte dos operadores de rede. A utilização destes programas, quer eles sejam baseados em preços de energia diferenciados ao longo do dia, quer estes sejam baseados em incentivos que imponham limites de consumo de energia, irá trazer benefícios na gestão da rede assim como diminuir a fatura energética dos consumidores, principalmente, se estes utilizarem modelos de gestão adequados. No entanto, este cenário implica um elevado investimento em infraestruturas e o desenvolvimento do próprio sistema de gestão das entidades que operam as redes elétricas.

O trabalho desenvolvido na dissertação resultou na publicação de 17 artigos científicos, sendo um deles publicado numa revista especializada no tema da dissertação (*Energy and Buildings - Elsevier*) indexada na *Science Citation Index (SCI)*.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, várias ideias surgiram para continuar com a evolução do mesmo. Algumas das implementações previstas estão intimamente ligadas aos novos projetos nacionais e europeus que foram recentemente iniciados e outros que irão iniciar, nomeadamente os seguintes projetos:

- **GID-MicroRede** – Sistema de Gestão Inteligente e Descentralizado de Micro-redes de Distribuição Privadas (ADI|QREN 34086);
- **SASGER-MeC** – Simulation and analysis of smart grids with renewable energy sources in the scope of competitive markets (NORTE-07-0162-FEDER-000101);
- **FUSE-IT** – Facility Using smart Secured Energy & Information Technology (project ITEA no. 13023);
- **DREAM-GO** – Enabling Demand Response for short and real-time Efficient And Market Based smart Grid Operation - An intelligent and real-time simulation approach (H2020-MSCA-RISE-2014; Project nº 641794). Início em Fevereiro de 2015.

Entre os muitos avanços que o desenvolvimento deste trabalho permitiu, alguns desenvolvimentos de trabalho futuro e inovação científica podem ser referidos:

- Evolução do modelo dinâmico de gestão de energia proposto, considerando a inclusão de veículos elétricos e de produção distribuída;
- Aperfeiçoamento dos modelos das cargas utilizadas nas habitações;
- Inclusão dos modelos de funcionamento das cargas diretamente nos modelos de otimização;
- Introdução de modelos de otimização estocásticos considerando a incerteza na utilização das cargas, produção e veículos elétricos;
- Maior integração do sistema de controlo de acessos e segurança com o modelo de gestão de energia;
- Inclusão de módulo de localização dos consumidores (através de uma ferramenta a ser instalada nos *smartphones*) de forma a alterar o perfil normal de utilização do sistema;
- Alargamento/adaptação do Sistema SHIM a um nível comercial e semi-industrial com a aplicação de programas de DR.

Referências

Referências

- [Administration-2013] U. S. E. I. Administration, "Annual Energy Outlook 2013 with Projections to 2040", 2013.
- [Agency-2013] E. E. Agency, "Final electricity consumption by sector, EU-27", Acedido em: Novembro 2013, Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps>
- [Alaskan-2008] A. Alaskan, "Power Consumption Table", Acedido em: Setembro 2013, Disponível em: <http://www.absak.com/library/power-consumption-table>
- [Alliance-2010] W. Alliance, "Wi-Fi for the smart grid: mature, interoperable, secure technology for advanced smart energy management communications", Acedido em: Setembro 2013, Disponível em: <http://www.wifi.org/knowledge>
- [Arghira, et al.-2012] N. Arghira, L. Hawarah, S. Ploix, and M. Jacomino, "Prediction of appliances energy use in smart homes", *Energy*, vol. 48, pp. 128-134, 2012.
- [Association IEEE-2011] S. Association IEEE, "IEEE Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems", ed: IEEE Standards Coordinating Committee 21, 2011.
- [Association of Australia-2012] E. S. Association of Australia, "Analysis of initiatives to lower peak demand. Final report.", Canberra 2012.
- [Automações-2009] Automações, "Redes Industriais - Modbus", Acedido em: Abril 2014, Disponível em: <http://www.automacoes.com/?p=27>
- [AWEA-2010] AWEA, "U.S. Small Wind Turbine Market Report", American Wind Energy Association, 2010.
- [Benzi, et al.-2011] F. Benzi, N. Anglani, E. Bassi, and L. Frosini, "Electricity Smart Meters Interfacing the Households", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, pp. 4487-4494, 2011.
- [BERR-2008] BERR, "Number of Microgeneration units installed in England, Wales, Scotland and Northern Ireland: Final Report", Department for Business Enterprise and Regulatory Reform, Element Energy November, 2008.
- [Bonino, et al.-2012] D. Bonino, F. Corno, and L. De Russis, "Home energy consumption feedback: A user survey", *Energy and Buildings*, vol. 47, pp. 383-393, 2012.
- [Borg, et al.-2011] S. P. Borg and N. J. Kelly, "The effect of appliance energy efficiency improvements on domestic electric loads in European households", *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 2240-2250, 2011.
- [Bose-2010] A. Bose, "Smart Transmission Grid Applications and Their Supporting Infrastructure", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, pp. 11-19, 2010.
- [Burger-2014] B. Burger, "Electricity production from solar and wind in Germany in 2013", Fraunhofer Institute for solar energy systems ISE, Freiburg 2014.
- [BWEA-2011] BWEA, "Small Wind Systems", UK Market Report, 2011.
- [Caldon, et al.-2004] R. Caldon, A. R. Patria, and R. Turri, "Optimisation algorithm for a virtual power plant operation", in *Universities Power Engineering Conference, 2004. UPEC 2004. 39th International*, 2004, pp. 1058-1062 vol. 2.
- [Chen, et al.-2013] C. Chen, K. G. Nagananda, X. Gang, S. Kishore, and L. V. Snyder, "A Communication-Based Appliance Scheduling Scheme for Consumer-Premise Energy Management Systems", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, pp. 56-65, 2013.

- [Choi, et al.-2012] I. Y. Choi, S. H. Cho, and J. T. Kim, "Energy consumption characteristics of high-rise apartment buildings according to building shape and mixed-use development", *Energy and Buildings*, vol. 46, pp. 123-131, 2012.
- [Clement-Nyns, et al.-2010] K. Clement-Nyns, E. Haesen, and J. Driesen, "The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, pp. 371-380, 2010.
- [Comission-2006] E. Comission, "European smart grids technology platform - Vision and strategy for Europe's electricity networks of the future", ed, 2006.
- [Commission-2002] E. Commission, "European Virtual Fuell Cell Power Plant", 2002.
- [Conejo, et al.-2010] A. J. Conejo, M. Carrión, and J. M. Morales, "Decision making under uncertainty in electricity markets". New York: Springer, 2010.
- [Cook, et al.-2004] D. J. Cook and S. K. Das, "Smart Environments: Technology, Protocols and Applications", Wiley Series on Parallel and Distributed Computing ed., 2004.
- [Corno, et al.-2012] F. Corno and F. Razzak, "Intelligent Energy Optimization for User Intelligible Goals in Smart Home Environments", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, pp. 2128-2135, 2012.
- [Costanzo, et al.-2012] G. T. Costanzo, Z. Guchuan, M. F. Anjos, and G. Savard, "A System Architecture for Autonomous Demand Side Load Management in Smart Buildings", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, pp. 2157-2165, 2012.
- [Dae-Man, et al.-2010a] H. Dae-Man and L. Jae-Hyun, "Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, pp. 1417-1425, 2010a.
- [Dae-Man, et al.-2010b] H. Dae-Man and L. Jae-Hyun, "Smart home energy management system using IEEE 802.15.4 and zigbee", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, pp. 1403-1410, 2010b.
- [Das, et al.-2002] S. K. Das, D. J. Cook, A. Battacharya, E. O. Heierman, III, and L. Tze-Yun, "The role of prediction algorithms in the MavHome smart home architecture", *Wireless Communications, IEEE*, vol. 9, pp. 77-84, 2002.
- [Das, et al.-2006] S. K. Das, N. Roy, and A. Roy, "Context-aware resource management in multi-inhabitant smart homes: A framework based on Nash -learning", *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 2, pp. 372-404, 2006.
- [Davies-2012] S. Davies, "Smart meters", *Engineering & Technology*, vol. 7, pp. 48-49, 2012.
- [Dentice d'Accadia, et al.-2003] M. Dentice d'Accadia, M. Sasso, S. Sibilio, and L. Vanoli, "Micro-combined heat and power in residential and light commercial applications", *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, pp. 1247-1259, 2003.
- [DGEG-2013a] DGEG, "Estatísticas e Preços-Energia Elétrica, Direcção Geral de Energia e Geologia", Acedido em: Setembro 2013, Disponível em: <http://www.dgeg.pt/>
- [DGEG-2013b] DGEG, "Direcção-Geral de Energia e Geologia", Acedido em: Setembro 2013, Disponível em: <http://www.dgeg.pt/>
- [Dielmann, et al.-2003] K. Dielmann and A. van der Velden, "Virtual power plants (VPP) - a new perspective for energy generation?", in *Modern Techniques and Technologies, 2003. MTT 2003. Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists*, 2003, pp. 18-20.

- [Douligeris-1993] C. Douligeris, "Intelligent home systems", *Communications Magazine, IEEE*, vol. 31, pp. 52-61, 1993.
- [Electropaedia-2005] Electropaedia, "Electricity Demand", Acedido em: Setembro 2013, Disponível em: http://www.mpoweruk.com/electricity_demand.htm
- [Elphick, et al.-2009] S. Elphick, P. Ciufu, and S. Perera, "Supply current characteristics of modern domestic loads", in *Power Engineering Conference, 2009. AUPEC 2009. Australasian Universities*, 2009, pp. 1-6.
- [England, et al.-1985] W. A. England and L. W. Harrison, "Integrating the Load Management Function into the Energy Control Center A Case History", *Power Engineering Review, IEEE*, vol. PER-5, pp. 31-31, 1985.
- [ERGEG-2010] ERGEG, "Position Paper on Smart Grids - An ERGEG Conclusions Paper", European Regulators Group for Electricity & Gas June 2010.
- [Erol-Kantarci, et al.-2011] M. Erol-Kantarci and H. T. Mouftah, "Wireless Sensor Networks for Cost-Efficient Residential Energy Management in the Smart Grid", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 2, pp. 314-325, 2011.
- [ESMIG-2009a] ESMIG, "A Guide to Smart Metering", Acedido em: Novembro 2013, Disponível em: <http://esmig.eu/resource/guide-smart-metering>
- [ESMIG-2009b] ESMIG, "Smart Metering: Towards a smarter energy world", Acedido em: Novembro 2013, Disponível em: http://esmig.eu/sites/default/files/esmig_general_brochure-online_version.pdf
- [ESMIG-2009c] ESMIG, "We make metering smart", Acedido em: Novembro 2013, Disponível em: <http://esmig.eu/>
- [Eto, et al.-1988] J. H. Eto, J. G. Koomey, J. E. McMahon, and E. P. Kahn, "Integrated analysis of demand-side programs", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, pp. 1397-1403, 1988.
- [Faria, et al.-2011] P. Faria and Z. Vale, "Demand response in electrical energy supply: An optimal real time pricing approach", *Energy, Elsevier*, vol. 36, pp. 5374-5384, August 2011.
- [Faruqui, et al.-2010] A. Faruqui, D. Harris, and R. Hledik, "Unlocking the €53 billion savings from smart meters in the EU: How increasing the adoption of dynamic tariffs could make or break the EU's smart grid investment", *Energy Policy*, vol. 38, pp. 6222-6231, 2010.
- [Fernandes, et al.-2011] F. Fernandes, T. Sousa, M. Silva, H. Morais, Z. Vale, and P. Faria, "Genetic algorithm methodology applied to intelligent house control", in *Computational Intelligence Applications In Smart Grid (CIASG), 2011 IEEE Symposium on*, 2011, pp. 1-8.
- [Fernandes, et al.-2012a] F. Fernandes, P. Faria, Z. Vale, H. Morais, and C. Ramos, "Intelligent Management of End Consumers Loads Including Electric Vehicles through a SCADA System ", in *Information Technology for Energy Applications 2012 (IT4Energy)*, Lisbon, 2012a.
- [Fernandes, et al.-2012b] F. Fernandes, H. Morais, P. Faria, Z. Vale, and C. Ramos, "Combined heat and power and consumption optimization in a SCADA-based system", in *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on*, 2012b, pp. 1-8.

- [Fernandes, et al.-2012c] F. Fernandes, H. Morais, P. Faria, Z. Vale, and C. Ramos, "Residential Energy Resources Management By a SCADA System in case of Excess Wind Generation", in *1St International Conference Energy, Environment and Sustainability (EES)*, Porto, 2012c.
- [Fernandes, et al.-2013] F. Fernandes, H. Morais, P. Faria, Z. Vale, and C. Ramos, "SCADA house intelligent management for energy efficiency analysis in domestic consumers", in *Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013 IEEE PES Conference On*, 2013, pp. 1-8.
- [Fernandes, et al.-2014] F. Fernandes, H. Morais, Z. Vale, and C. Ramos, "Dynamic load management in a smart home to participate in demand response events", *Energy and Buildings*, vol. 82, pp. 592-606, 2014.
- [Footprint-2012] C. Footprint, "Household Energy Consumption", Acedido em: Setembro 2013, Disponível em: <http://www.carbonfootprint.com/energyconsumption.html>
- [Gann, et al.-1999] D. Gann, J. Barlow, and T. Venables, "Digital Futures: Making Homes Smarter", Chartered Institute of Housing, Coventry1999.
- [Goldenberg, et al.-2013] N. Goldenberg and A. Wool, "Accurate modeling of Modbus/TCP for intrusion detection in SCADA systems", *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol. 6, pp. 63-75, 2013.
- [Golzar, et al.-2010] M. G. Golzar and H. R. Tajozakerin, "A New Intelligent Remote Control System for Home Automation and Reduce Energy Consumption", in *Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation (AMS), 2010 Fourth Asia International Conference on*, 2010, pp. 174-180.
- [Gomes, et al.-2011] L. Gomes, F. Fernandes, T. Sousa, M. Silva, H. Morais, Z. Vale, and C. Ramos, "Contextual intelligent load management with ANN adaptive learning module", in *Intelligent System Application to Power Systems (ISAP), 2011 16th International Conference on*, 2011, pp. 1-6.
- [Gomes, et al.-2014] L. Gomes, P. Faria, F. Fernandes, Z. Vale, and C. Ramos, "Domestic consumption simulation and management using a continuous consumption management and optimization algorithm", in *T&D Conference and Exposition, 2014 IEEE PES*, 2014, pp. 1-5.
- [Guerrero, et al.-2010] J. M. Guerrero, F. Blaabjerg, T. Zhelev, K. Hemmes, E. Monmasson, S. Jemei, M. P. Comech, R. Granadino, and J. I. Frau, "Distributed Generation: Toward a New Energy Paradigm", *Industrial Electronics Magazine, IEEE*, vol. 4, pp. 52-64, 2010.
- [Gutzwiller, et al.-1983] F. W. Gutzwiller, J. E. Francis, E. K. Howell, and W. R. Kruesi, "Homenet: A Control Network for Consumer Applications", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. CE-29, pp. 297-304, 1983.
- [Hammerschmidt, et al.-2010] T. Hammerschmidt, A. Gaul, and J. Schneider, "Smart Grids are the efficient base for future energy applications", presented at the CIREN Workshop 2010: Sustainable Distribution Asset Management & Financing, Lyon, France, 2010.
- [Harper-2003] R. Harper, "Inside the Smart Home: ideas, possibilities and methods", in *Inside the Smart Home*, Springer, Ed., ed London, 2003, pp. 1-13.
- [Hatziaargyriou, et al.-2005] N. Hatziaargyriou, A. Dimeas, and A. Tsikalakis, "Centralized and decentralized control of microgrids", *International Journal of Distributed*

- Energy Resources, Technology & Science Publishers*, vol. 1, pp. 197-212, 2005.
- [Hawkes, et al.-2007] A. D. Hawkes and M. A. Leach, "Cost-effective operating strategy for residential micro-combined heat and power", *Energy*, vol. 32, pp. 711-723, 2007.
- [Hove-2008] P. Hove, "EU Research Programmes: Future Prospects through the SET Plan and FP7", presented at the 3rd International Conference on Integration of Renewable and Distributed Energy Resources, Nice, France, 2008.
- [IEEE-2003] IEEE, "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)", ed. IEEE Press: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003.
- [IEEE-2012] IEEE, "IEEE Approved Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 15.4: Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment: Physical Layer (PHY) Specifications for Low Data Rate Wireless Smart Metering Utility Networks", P802.15.4g/D7, November 2011, pp. 1-258, 2012.
- [Information-2012] S. G. N. Information, "Smart Grid Technology", Acedido em: Outubro 2013, Disponível em: <http://www.facebook.com/SmartGridTechnology>
- [IP-3E-2004] IP-3E, "Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos" (Direcção-Geral de Energia e Geologia ed.), Acedido em: Setembro 2013, Disponível em: http://www.energiasrenovaveis.com/BibliotecaListagem.asp?ID_BBconteudo=15&ID_area=11&ID_BBarea=2
- [Jiang, et al.-2011] B. Jiang and Y. Fei, "Dynamic Residential Demand Response and Distributed Generation Management in Smart Microgrid with Hierarchical Agents", *Energy Procedia*, vol. 12, pp. 76-90, 2011.
- [Jidong, et al.-2012] W. Jidong, S. Zhiqing, Z. Yue, and D. Jiaqiang, "Optimal dispatching model of Smart Home Energy Management System", in *Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), 2012 IEEE*, 2012, pp. 1-5.
- [Jihua, et al.-2012] Y. Jihua, X. Qi, X. Yaohong, and W. Chunlan, "The research of an adaptive smart home system", in *Computer Science & Education (ICCSE), 2012 7th International Conference on*, 2012, pp. 882-887.
- [Jinsoo, et al.-2009] H. Jinsoo, L. Haeryong, and P. Kwang-Roh, "Remote-controllable and energy-saving room architecture based on ZigBee communication", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 55, pp. 264-268, 2009.
- [Jinsoo, et al.-2011] H. Jinsoo, C. Chang-Sic, and L. Ilwoo, "More efficient home energy management system based on ZigBee communication and infrared remote controls", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 57, pp. 85-89, 2011.
- [JinSung, et al.-2011] B. JinSung and P. Sehyun, "Development of a self-adapting intelligent system for building energy saving and context-aware smart services", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 57, pp. 90-98, 2011.
- [JinSung, et al.-2012] B. JinSung, J. Bounjju, N. Junyoung, K. Youngil, and P. Sehyun, "An intelligent self-adjusting sensor for smart home services based on ZigBee communications", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 58, pp. 794-802, 2012.

- [Jo, et al.-2013] H. C. Jo, S. Kim, and S. K. Joo, "Smart heating and air conditioning scheduling method incorporating customer convenience for home energy management system", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 59, 2013.
- [Katiraei, et al.-2008] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziargyriou, and A. Dimeas, "Microgrids management", *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 6, pp. 54-65, 2008.
- [KNX-2014] KNX, "O que é o KNX?", Acedido em: Abril 2014, Disponível em: <http://www.knx.org/pt/knx/o-que-e-knx/>
- [Kok, et al.-2009] K. Kok, S. Karnouskos, D. Nestle, A. Dimeas, A. Weidlich, C. Warmer, P. Strauss, B. Buchholz, S. Drenkard, N. Hatziargyriou, and V. Lioliou, "Smart House for Smart Grid", presented at the 20th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Prague, 2009.
- [Kroposki, et al.-2008] B. Kroposki, R. Lasseter, T. Ise, S. Morozumi, S. Papatlianassiou, and N. Hatziargyriou, "Making microgrids work", *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 6, pp. 40-53, 2008.
- [Kuzlu, et al.-2012] M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, "Hardware Demonstration of a Home Energy Management System for Demand Response Applications", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, pp. 1704-1711, 2012.
- [Laboratory-2012] N. R. E. Laboratory, "Energy Systems Integration ", Acedido em: Outubro 2013, Disponível em: <http://www.nrel.gov/esi/index.html?print>
- [Li, et al.-2011] L. Li, X. Hu, J. Huang, and K. He, "Design of new architecture of AMR system in Smart Grid", in *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2011 6th IEEE Conference on*, 2011, pp. 2025-2029.
- [Libiao, et al.-2011] Q. Libiao, L. Xiaojun, and J. Baochen, "Design and implementation of the smart meter in vehicle-to-grid", in *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 2011 4th International Conference on*, 2011, pp. 618-621.
- [Lighting-2012] B. Lighting, "Light Bulbs Shipped Fast", Acedido em: Setembro 2012, Disponível em: <http://www.buylighting.com/Fluorescent-Tubes-s/98.htm>
- [Lojowska, et al.-2012] A. Lojowska, D. Kurowicka, G. Papaefthymiou, and L. Van der Sluis, "Stochastic Modeling of Power Demand Due to EVs Using Copula", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 27, pp. 1960-1968, 2012.
- [Maity, et al.-2010] I. Maity and S. Rao, "Simulation and Pricing Mechanism Analysis of a Solar-Powered Electrical Microgrid", *Systems Journal, IEEE*, vol. 4, pp. 275-284, 2010.
- [Marnay, et al.-2008] C. Marnay, H. Asano, S. Papathanassiou, and G. Strbac, "Policymaking for microgrids", *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 6, pp. 66-77, 2008.
- [Matty-1989] T. C. Matty, "Advanced energy management for home use", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 35, pp. 584-588, 1989.
- [McLoughlin, et al.-2012] F. McLoughlin, A. Duffy, and M. Conlon, "Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study", *Energy and Buildings*, vol. 48, pp. 240-248, 2012.
- [Mehta, et al.-2005] V. K. Mehta and R. Mehta, "Principles of Power System: Including Generation, Transmission, Distribution, Switchgear and Protection : for B.E/B.Tech., AMIE and Other Engineering Examinations": S. Chand, 2005.

Gestão Inteligente de uma Habitação considerando o Controlo de Cargas, de Microgeração e Veículos Elétricos em Função do seu Perfil de Utilização

- [Meyers, et al.-2010] R. J. Meyers, E. D. Williams, and H. S. Matthews, "Scoping the potential of monitoring and control technologies to reduce energy use in homes", *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 563-569, 2010.
- [Mitsubishi-2008] Mitsubishi, "Mitsubishi i-MiEV Technical Specifications", Acedido em: Maio 2012, Disponível em: <http://www.mitsubishi-motors.com/special/ev/whatis/index.html>
- [Morais-2010] H. Morais, "Gestão de recursos energéticos nas SmartGrids", Master degree thesis, Department of Electrical Engineering, Polytechnic of Porto, 2010.
- [Morais, et al.-2010] H. Morais, P. Kádar, P. Faria, Z. Vale, and H. Khodr, "Optimal Scheduling of a Renewable micro-grid in an Isolated Load area using Mixed-Integer Linear Programming", *Renewable Energy, Elsevier*, vol. 35, pp. 151-156, January 2010.
- [Morais, et al.-2012] H. Morais, F. Fernandes, P. Faria, and Z. Vale, "Energy Efficiency Analysis Considering the Use of an Intelligent Systems Management in a Smart Home", in *1St International Conference Energy, Environment and Sustainability (EES)*, Porto, 2012.
- [Norair-2009] J. Norair, "Introduction to dash7 technologies. Dash7 Alliance Low Power RF Technical Overview", 2009.
- [Oliveira, et al.-2012] P. Oliveira, T. Pinto, H. Morais, and Z. Vale, "MASGriP — A Multi-Agent Smart Grid Simulation Platform", in *Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE*, 2012, pp. 1-8.
- [Ozturk, et al.-2013] Y. Ozturk, D. Senthilkumar, S. Kumar, and G. Lee, "An Intelligent Home Energy Management System to Improve Demand Response", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, pp. 694-701, 2013.
- [Pedrasa, et al.-2010] M. A. A. Pedrasa, T. D. Spooner, and I. F. MacGill, "Coordinated Scheduling of Residential Distributed Energy Resources to Optimize Smart Home Energy Services", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, pp. 134-143, 2010.
- [Peine-2009] A. Peine, "Understanding the dynamics of technological configurations: A conceptual framework and the case of Smart Homes", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 76, pp. 396-409, 2009.
- [Pengwei, et al.-2011] D. Pengwei and L. Ning, "Appliance Commitment for Household Load Scheduling", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 2, pp. 411-419, 2011.
- [PER-2013] PER, "Portal das energias renováveis" (*Portal das energias renováveis ed.*), Acedido em: Setembro 2012, Disponível em: <http://www.energiasrenovaveis.com/index.asp>
- [Pipattanasomporn, et al.-2012] M. Pipattanasomporn, M. Kuzlu, and S. Rahman, "An Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response Analysis", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, pp. 2166-2173, 2012.
- [Plan-2010] P. Plan, "Harmonize power line carrier standards for appliance communications in the home", 2010.
- [Pordata-2013] Pordata, "Produção de energia eléctrica: total e a partir de fontes renováveis - Portugal", Acedido em: Outubro 2013, Disponível em: <http://www.pordata.pt/Home>
- [Powers, et al.-1988a] J. T. Powers, M. S. Shirilau, R. T. Uhlener, and B. A. Smith, "Design of a utility competitive assessment experiment: the Residential Energy Usage

- Comparison Project*", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, pp. 1298-1305, 1988a.
- [Powers, et al.-1988b] J. T. Powers and B. A. Smith, "Load data analysis workstation: DOS-based load and customer data analysis system", *Computer Applications in Power, IEEE*, vol. 1, pp. 44-48, 1988b.
- [Qela, et al.-2012] B. Qela and H. T. Mouftah, "Observe, Learn, and Adapt (OLA)-An Algorithm for Energy Management in Smart Homes Using Wireless Sensors and Artificial Intelligence", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, pp. 2262-2272, 2012.
- [Rahman, et al.-2011] M. M. Rahman and A. Mto, "Technologies required for efficient operation of a smart meter network", in *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2011 6th IEEE Conference on*, 2011, pp. 809-814.
- [Ravibabu, et al.-2009] P. Ravibabu, A. Praveen, C. V. Chandra, P. R. Reddy, and M. Teja, "An approach of DSM techniques for domestic load management using fuzzy logic", in *Fuzzy Systems, 2009. FUZZ-IEEE 2009. IEEE International Conference on*, 2009, pp. 1303-1307.
- [Roossien, et al.-2008] B. Roossien, M. Hommelberg, C. Warmer, K. Kok, and J. W. Turkstra, "Virtual power plant field experiment using 10 micro-CHP units at consumer premises", in *SmartGrids for Distribution, 2008. IET-CIRED. CIRED Seminar, 2008*, pp. 1-4.
- [Rosenfeld, et al.-1986] A. H. Rosenfeld, D. A. Bulleit, and R. A. Peddie, "Smart Meters and Spot Pricing: Experiments and Potential", *Technology and Society Magazine, IEEE*, vol. 5, pp. 23-28, 1986.
- [Ryan, et al.-1989] N. E. Ryan, J. T. Powers, S. D. Braithwait, and B. A. Smith, "Generalizing direct load control program analysis: implementation of the duty cycle approach", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 4, pp. 293-299, 1989.
- [Saber, et al.-2012] A. Y. Saber and G. K. Venayagamoorthy, "Resource Scheduling Under Uncertainty in a Smart Grid With Renewables and Plug-in Vehicles", *Systems Journal, IEEE*, vol. 6, pp. 103-109, 2012.
- [Samadi, et al.-2013] M. Samadi, M. H. Javidi, and M. S. Ghazizadeh, "The effect of time-based demand response program on LDC and reliability of power system", in *Electrical Engineering (ICEE), 2013 21st Iranian Conference on*, 2013, pp. 1-6.
- [Sharma-2013] A. Sharma, "Wired vs. Wireless Technologies for Communication Networks in Utility Markets", Acedido em: Setembro 2014, Disponível em: <http://www.utilityproducts.com/articles/print/volume-16/issue-04/product-focus/>
- [Sikai, et al.-2010] H. Sikai and D. Infield, "The impact of domestic Plug-in Hybrid Electric Vehicles on power distribution system loads", in *Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference on*, 2010, pp. 1-7.
- [Sioshansi-2013] F. P. Sioshansi, "Evolution of global electricity markets : new paradigms, new challenges, new approaches", 1st ed. Amsterdam ; Boston: Elsevier, 2013.
- [Sita, et al.-2014] I.-V. Sita and P. Dobra, "KNX Building Automations Interaction with City Resources Management System", *Procedia Technology*, vol. 12, pp. 212-219, 2014.

- [Skrzypczak-1987] C. Skrzypczak, "The intelligent home of 2010", *Communications Magazine, IEEE*, vol. 25, pp. 81-84, 1987.
- [Smith-2006] W. Smith, "Climate Change - Electricity Consumption of Common Domestic Appliances", Acedido em: Setembro 1012, Disponível em: <http://www.willsmith.org/climatechange/domestic.html#Kitchen>
- [Soares, et al.-2012] A. Soares, A. Gomes, and C. H. Antunes, "Domestic load characterization for demand-responsive energy management systems", in *Sustainable Systems and Technology (ISSST), 2012 IEEE International Symposium on*, 2012, pp. 1-6.
- [Sousa, et al.-2012] T. Sousa, H. Morais, Z. Vale, P. Faria, and J. Soares, "Intelligent Energy Resource Management Considering Vehicle-to-Grid: A Simulated Annealing Approach", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, pp. 535-542, March 2012.
- [Stauffer-1991] H. B. Stauffer, "Smart enabling system for home automation", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 37, pp. 29-35, 1991.
- [Stromback, et al.-2011] J. Stromback, C. Dromacque, and M. Yassin, "The potential of smart meter enabled programs to increase energy and systems efficiency: a mass pilot comparison", VaasaETT, Global Energy Think Tank 2011.
- [Sungwook, et al.-2011] K. Sungwook, K. Eun Young, K. Myungsun, C. Jung Hee, J. Seong-ho, L. Yong-hoon, and C. Moon-seok, "A Secure Smart-Metering Protocol Over Power-Line Communication", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 26, pp. 2370-2379, 2011.
- [Swan, et al.-2009] L. G. Swan and V. I. Ugursal, "Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 1819-1835, 2009.
- [Thomson, et al.-2007] M. Thomson and D. G. Infield, "Network Power-Flow Analysis for a High Penetration of Distributed Generation", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, pp. 1157-1162, 2007.
- [Tsado, et al.-2014] Y. Tsado, D. Lund, and K. Gamage, "Resilient wireless communication networking for Smart grid BAN", in *Energy Conference (ENERGYCON), 2014 IEEE International*, 2014, pp. 846-851.
- [Tsui, et al.-2012] K. M. Tsui and S. C. Chan, "Demand Response Optimization for Smart Home Scheduling Under Real-Time Pricing", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, pp. 1812-1821, 2012.
- [USDE-2009] USDE, "Smart grid system report", U. S. Department of Energy 2009.
- [Usman, et al.-2013] A. Usman and S. H. Shami, "Evolution of Communication Technologies for Smart Grid applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 19, pp. 191-199, 2013.
- [Vale, et al.-2009] Z. Vale, H. Morais, M. Silva, and C. Ramos, "Towards a future SCADA", in *Power & Energy Society General Meeting, 2009 IEEE*, 2009.
- [Vale, et al.-2011] Z. Vale, T. Pinto, H. Morais, I. Praca, and P. Faria, "VPP's multi-level negotiation in smart grids and competitive electricity markets", in *Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE*, 2011.
- [Venables-2007] M. Venables, "Smart meters make smart consumers [Analysis]", *Engineering & Technology*, vol. 2, pp. 23-23, 2007.

- [Venkataramanan, et al.-2008] G. Venkataramanan and C. Marnay, "A larger role for microgrids", *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 6, pp. 78-82, 2008.
- [Visualization-2012] D. Visualization, "Home Appliance Energy Use", Acedido em: Setembro 2012, Disponível em: <http://visualization.geblogs.com/visualization/appliances/>
- [Wacks-1991] K. P. Wacks, "Utility load management using home automation", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 37, pp. 168-174, 1991.
- [Walawalkar, et al.-2010] R. Walawalkar, S. Fernands, N. Thakur, and K. R. Chevva, "Evolution and current status of demand response (DR) in electricity markets: Insights from PJM and NYISO", *Energy*, vol. 35, pp. 1553-1560, 2010.
- [White-2009] D. B. White, "Securing Smart Grid Implementation: Case study using IBM WebSphere Data Power Appliance", Miracle Software Systems, Inc2009.
- [Wi, et al.-2013] Y. W. Wi, J. U. Lee, and S. K. Joo, "Electric vehicle charging method for smart homes/buildings with a photovoltaic system", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 59, 2013.
- [wiseGEEK-2014] wiseGEEK, "What Are Wired Communications?", Acedido em: Setembro 2014, Disponível em: <http://www.wisegeek.com/what-are-wired-communications.htm>
- [Wishart, et al.-2011] M. T. Wishart, F. Shahnia, A. Ghosh, and G. Ledwich, "Multi objective decision making method for demand side management of LV residential distribution networks with plug-in electric vehicles", in *Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE*, 2011, pp. 1-8.
- [Wood, et al.-2007] G. Wood and M. Newborough, "Energy-use information transfer for intelligent homes: Enabling energy conservation with central and local displays", *Energy and Buildings*, vol. 39, pp. 495-503, 2007.
- [Xin, et al.-2012] L. Xin, L. Ivanescu, K. Rui, and M. Maier, "Real-time household load priority scheduling algorithm based on prediction of renewable source availability", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 58, pp. 318-326, 2012.
- [Yang-2013] M. Yang, "Investing in demand response and smart grid: A case study of GEF project in China", Acedido em: Janeiro 2014, Disponível em: <http://www.thegef.org/>
- [Yi, et al.-2011] Z. Yi, D. Kullmann, A. Thavlov, O. Gehrke, and H. W. Bindner, "Active load management in an intelligent building using model predictive control strategy", in *PowerTech, 2011 IEEE Trondheim*, 2011, pp. 1-6.
- [Ying-Yi, et al.-2012] H. Ying-Yi, L. Jie-Kai, W. Ching-Ping, and C. Chi-Cheng, "Multi-Objective Air-Conditioning Control Considering Fuzzy Parameters Using Immune Clonal Selection Programming", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, pp. 1603-1610, 2012.
- [Youn-Kwae, et al.-2008] J. Youn-Kwae, I. Han, and P. Kwang-Roh, "A network level power management for home network devices", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 54, pp. 487-493, 2008.
- [Young-Sung, et al.-2010] S. Young-Sung, T. Pulkkinen, M. Kyeong-Deok, and K. Chaekyu, "Home energy management system based on power line communication", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, pp. 1380-1386, 2010.
- [Yu-Ju, et al.-2002] L. Yu-Ju, H. A. Latchman, L. Minkyu, and S. Katar, "A power line communication network infrastructure for the smart home", *Wireless Communications, IEEE*, vol. 9, pp. 104-111, 2002.

Anexos

Anexo A

Dados dos consumidores em Portugal

A Figura A.1 apresenta o número de consumidores entre 1994 e 2010 em Portugal com contadores de baixa ou alta tensão.

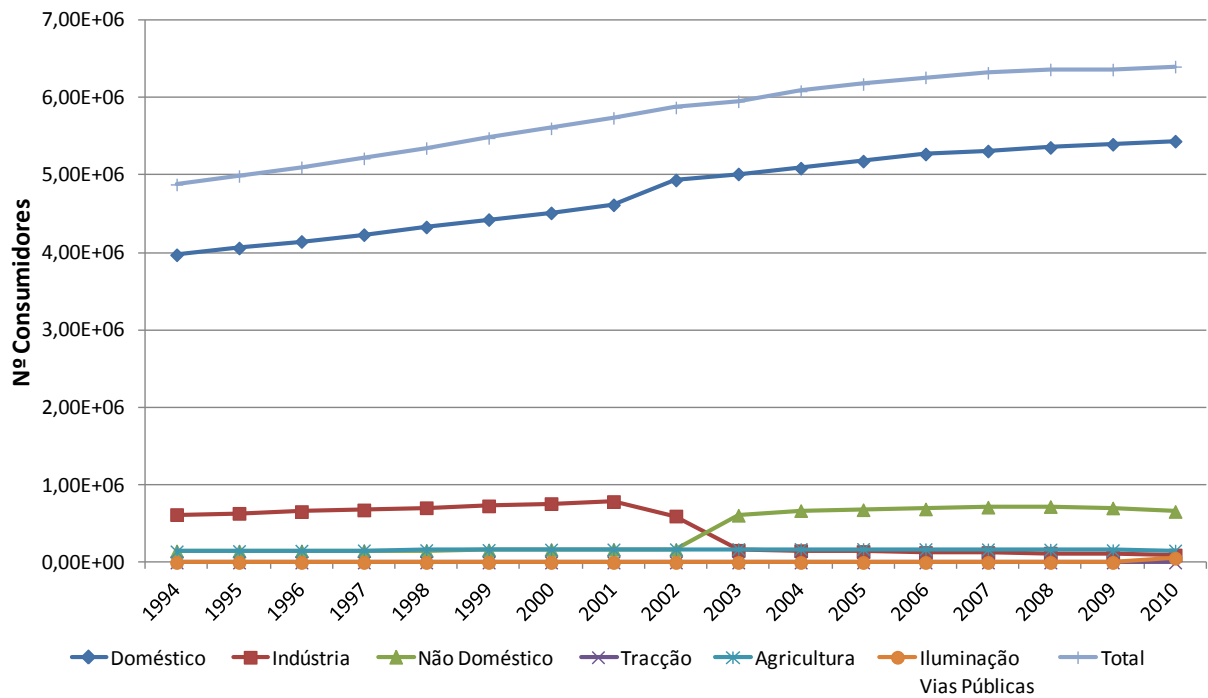


Figura A.1 – Número de consumidores com contadores de baixa tensão e alta tensão instalados em Portugal (adaptado de [DGEG-2013a]).

A Figura A.2 apresenta a percentagem de energia consumida por tipo de consumidor entre 1994 e 2010 em Portugal em baixa tensão.

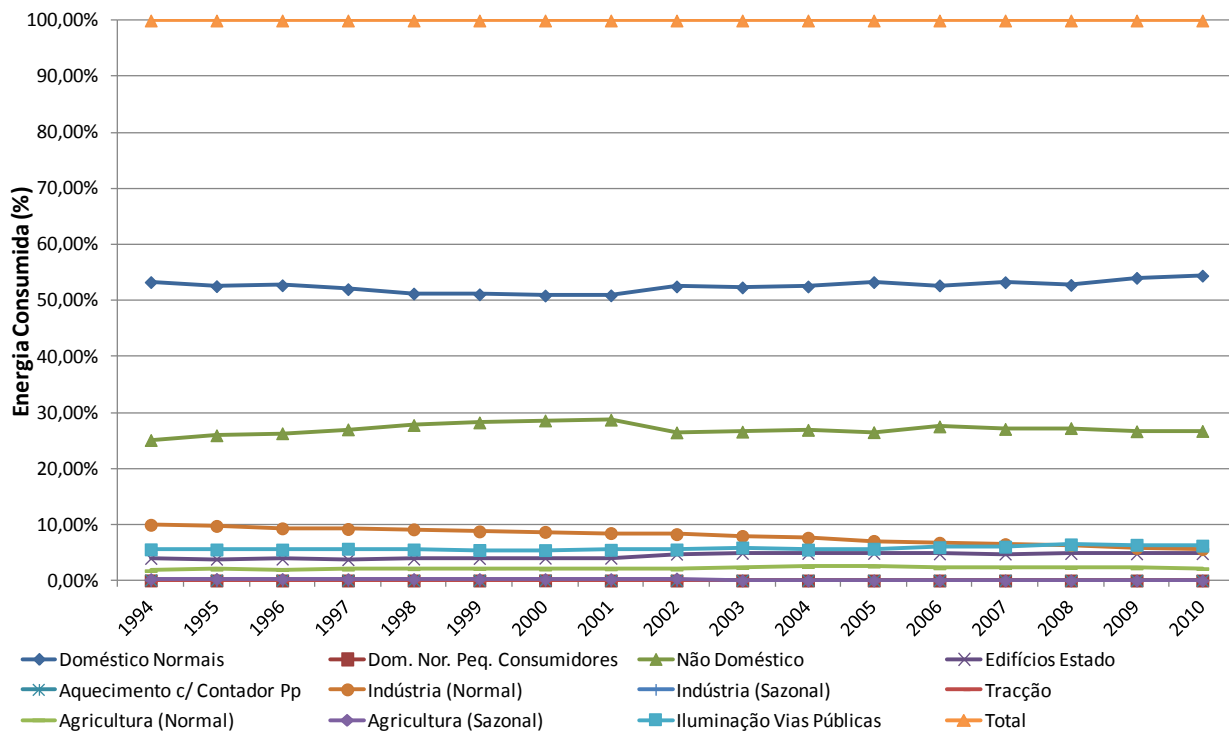


Figura A.2 – Percentagem da energia consumida para cada tipo de consumidor com contadores em baixa tensão (adaptado de [DGEG-2013a]).

A Tabela A.1 apresenta os valores de energia consumida pelos consumidores domésticos em Portugal no ano de 2010.

Tabela A.1 – Consumo de eletricidade nos consumidores domésticos por localização geográfica em 2010

Localização geográfica (NUTS-2002)	Consumo de eletricidade (kWh) nos alojamentos familiares clássicos de residência habitual por Localização geográfica (NUTS - 2002) e Tipo de utilização (eletricidade); Não periódica						
	Período de referência dos dados						
	2010						
	Tipo de utilização (eletricidade)						
	Total	Aquecimento do ambiente	Arrefecimento do ambiente	Aquecimento de águas	Cozinha	Pequenos domésticos e equipamentos de entretenimento e informática	Iluminação
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Portugal	9.542.480.238	864.508.043	152.410.012	228.361.676	3.866.937.680	3.135.973.664	1.294.289.163
Continente	9.176.573.633	861.186.435	150.922.889	221.287.711	3.706.162.596	3.014.887.298	1.222.126.704
Região Autónoma dos Açores	191.562.175	2.197.466	562.884	821.516	89.278.430	62.466.480	36.235.399
Região Autónoma da Madeira	174.344.430	1.124.142	924.240	6.252.449	71.496.653	58.619.886	35.927.061

A Tabela A.2 o número de consumidores em Portugal no ano de 2010 por cada tipo de consumidor.

Tabela A.2 – Número de consumidores de eletricidade por localização geográfica e por tipo de consumidor em 2009

Localização geográfica (NUTS - 2001)	Consumidores de eletricidade (N.º) por Localização geográfica (NUTS - 2001) e Tipo de consumo; Anual					
	Período de referência dos dados					
	2009					
	Tipo de consumo					
	Total	Doméstico	Não doméstico	Indústria	Agricultura	Outros
	N.º	N.º	N.º	N.º	N.º	N.º
Portugal	6360520	5396061	703291	103073	158056	39
Continente	6107507	5183022	668318	99926	156202	39
Região Autónoma dos Açores	117667	100323	15274	1359	711	
Região Autónoma da Madeira	135346	112716	19699	1788	1143	

Anexo B

Interface do Sistema SHIM

Todas as figuras deste anexo apresentam os restantes submenus para a interface do Sistema SHIM. As figuras seguintes apresentam os submenus para a produção.

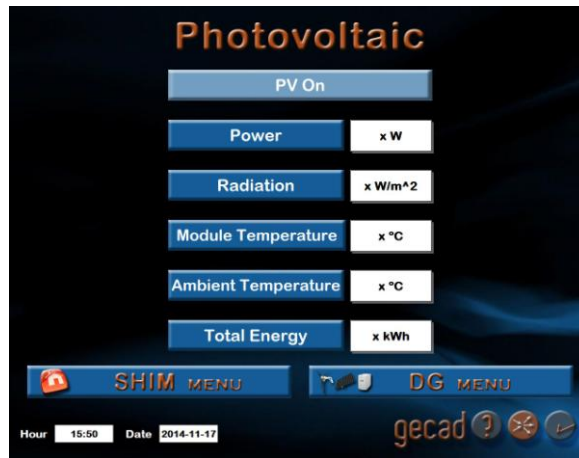


Figura B.1 - Submenu da produção distribuída para o painel fotovoltaico no Sistema SHIM



Figura B.2 - Submenu da produção distribuída para a cogeração no Sistema SHIM



Figura B.3 - Submenu da produção distribuída para o gerador eólico no Sistema SHIM

As figuras seguintes apresentam os submenus para as cargas.



Figura B.4 - Submenu das cargas para o quarto no Sistema SHIM



Figura B.5 - Submenu das cargas para a sala de estar no Sistema SHIM



Figura B.6 - Submenu das cargas para a casa de banho no Sistema SHIM



Figura B.7 - Submenu das cargas para a sala de arrumos no Sistema SHIM

As figuras seguintes apresentam os submenus para os veículos elétricos.

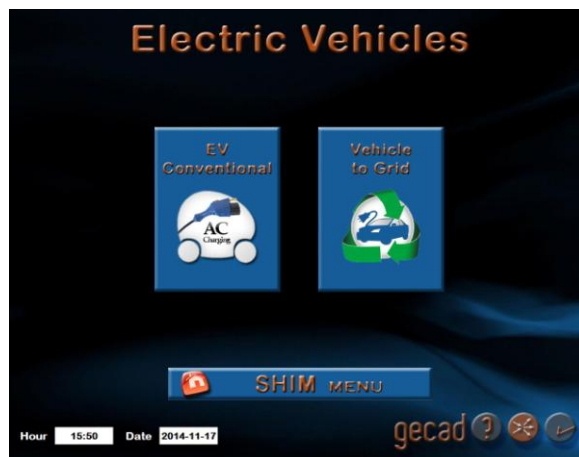


Figura B.8 - Submenu da interface do Sistema SHIM para os veículos elétricos



Figura B.9 - Submenu dos veículos elétricos para o veículo com capacidade de descarga no Sistema SHIM

As figuras seguintes apresentam os submenus para o estado do sistema.



Figura B.10 - Submenu do estado do sistema para a informação geral no Sistema SHIM

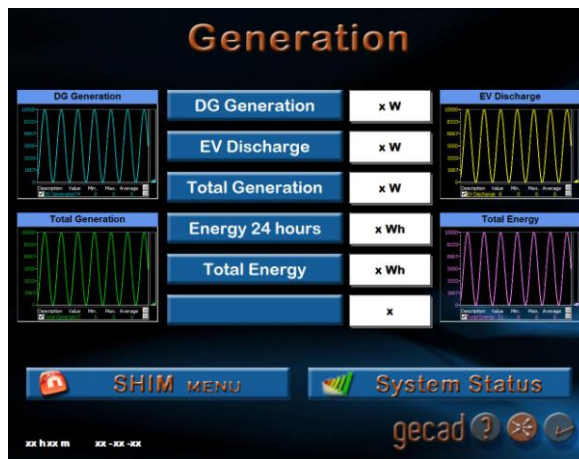


Figura B.11 - Submenu do estado do sistema para a produção no Sistema SHIM

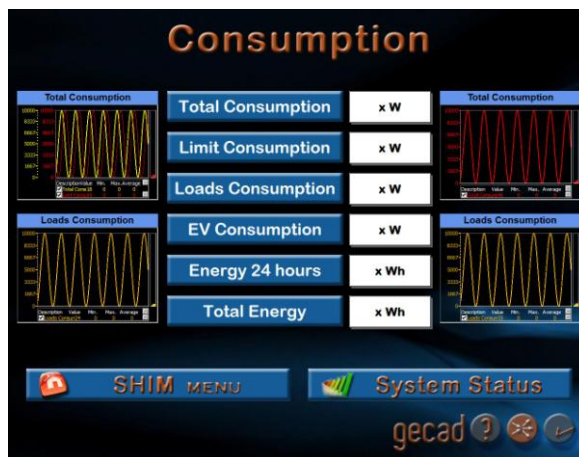


Figura B.12 - Submenu do estado do sistema para o consumo no Sistema SHIM

As figuras seguintes apresentam os submenus para a configuração do sistema.



Figura B.13 - Submenu da configuração do sistema para a estratégia de economia e eficiência no Sistema SHIM



Figura B.14 - Submenu da configuração do sistema para os níveis de conforto no Sistema SHIM

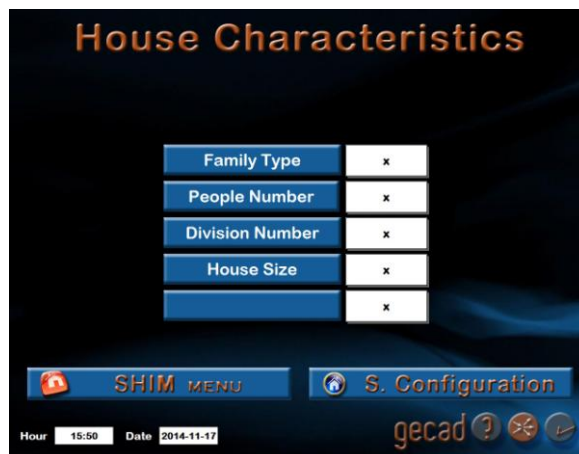


Figura B.15 - Submenu da configuração do sistema para as características da casa no Sistema SHIM

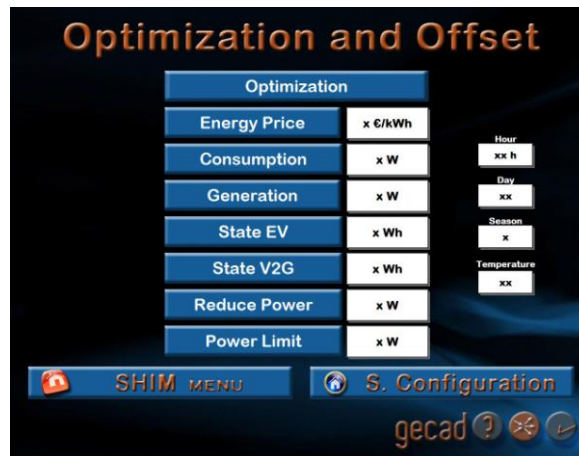


Figura B.16 - Submenu da configuração do sistema para a otimização e *Offset* no Sistema SHIM

Anexo C

Perfil de consumo de cargas individuais

A Figura C.1 apresenta o perfil de consumo da máquina de lavar roupa A entre as 9:00 AM e as 12:40 PM. Este perfil apresenta duas lavagens bastante semelhantes e completas com água quente verificando-se assim um consumo significativo durante o período de utilização. A primeira lavagem termina próximo das 10:30 PM e a segunda lavagem termina já depois das 12:30 PM, sendo que a segunda lavagem tem maior duração.

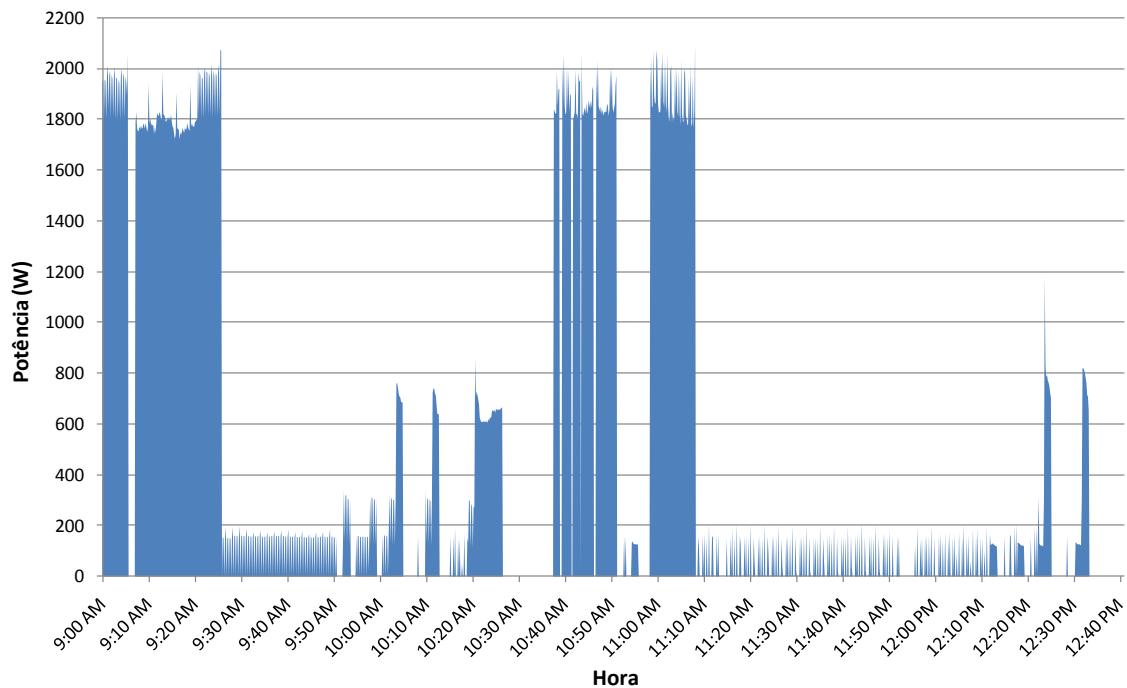


Figura C.1 – Perfil de consumo da máquina de lavar A durante as 9:00 AM e as 12:40 PM

O refrigerador de água é uma carga com características de funcionamento semelhante ao frigorífico. O seu perfil de consumo depende de vários fatores como a temperatura da água, a temperatura do local onde está o refrigerador, das vezes que o utilizador retira água, a quantidade de água que retira, entre outros. Esta carga apresenta quatro modos de funcionamento como apresentado na Tabela C.1. Este específico refrigerador apresenta também um modo para aquecimento de água, sendo que tem quatro modos de funcionamento. O modo que tem maior consumo é quando a refrigeração e o aquecimento funcionam ao mesmo tempo, sendo que o equipamento apresenta dois compartimentos de água distintos.

Tabela C.1 – Modos de funcionamento de um refrigerador de água

Modo	Tipo	Máxima Potência (W)
0	Desligado	0
1	Refrigerar	105
2	Aquecer	440
3	Refrigerar e Aquecer	545

A Figura C.2 apresenta o perfil de consumo de um refrigerador de água entre as 4:00 PM e as 8:00 PM.

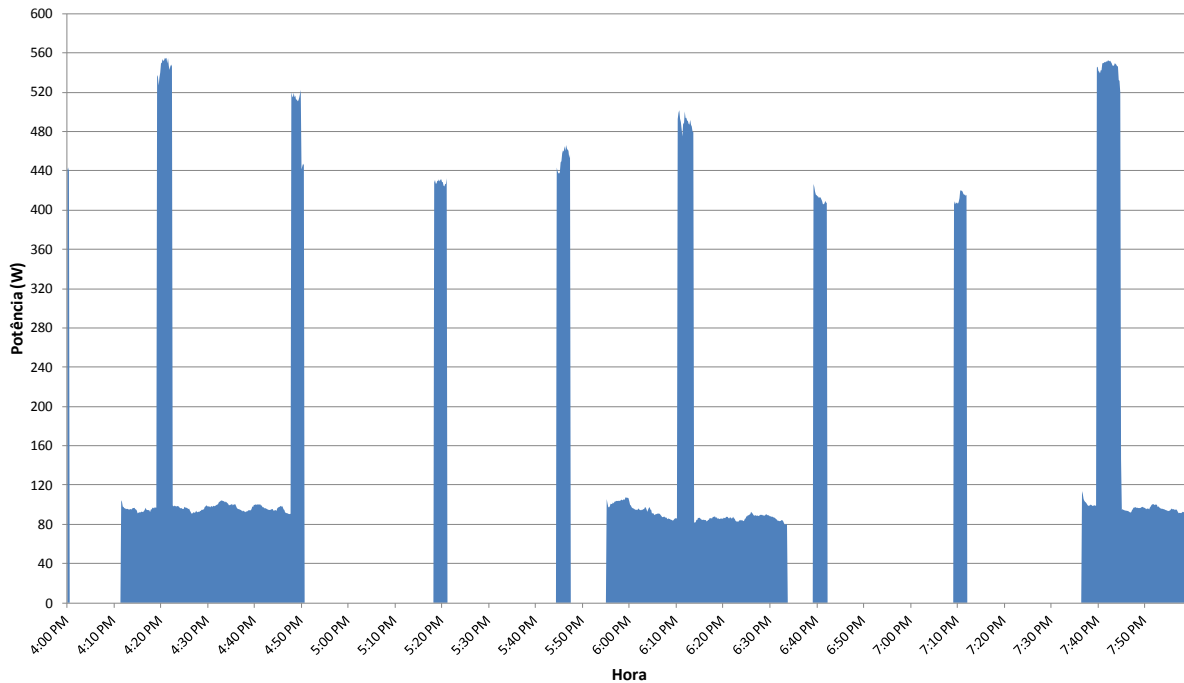


Figura C.2 – Perfil de consumo de um refrigerador de água entre as 4:00 PM e as 8:00 PM

Ao analisar a figura anterior são facilmente identificáveis os modos de funcionamento apresentados na Tabela C.1. Sendo que o modo de refrigeração da água é ligado mais vezes mas por curtos períodos de tempo e o modo de aquecimento é ligado menos vezes mas por maiores períodos de tempo. O modo de refrigeração e aquecimento acontece quando os dois modos coincidem no mesmo período. Por exemplo, isso acontece por volta das 6:10 PM.

Concluindo, o refrigerador de água é uma carga que deve ser considerada como permanente mas que faz a sua própria gestão de acordo com a temperatura da água nos devidos compartimentos. Semelhante ao frigorífico, esta é uma carga que não está sempre ligada mas que está sempre pronta a ligar de acordo com a necessidade da temperatura da água. No final das 24 horas, este tipo de carga pode apresentar um consumo de energia considerável do consumidor doméstico.

