



Maria da Graça Costa Ribeiro

## **REDES INTELIGENTES E O CONCEITO ENERGY BOX**

### **Simulação do Impacto Potencial do deslocamento das cargas domésticas, em Portugal**

Mestrado em Energia para a Sustentabilidade

Julho, 2012



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



**REDES INTELIGENTES E O CONCEITO ENERGY BOX**

**Simulação do impacto potencial do deslocamento  
das cargas domésticas, em Portugal**

Maria da Graça Costa Ribeiro

Júri:

Presidente: Professor Doutor Luís Miguel Cândido Dias

Orientador: Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge

Vogal: Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes

Coimbra, Julho de 2012



*A escala e a complexidade dos problemas ambientais suscitam frequentemente um sentimento de impotência, a impressão de que o peso das decisões individuais é insignificante e a convicção de que o futuro se decide à margem da esfera de influência de cada pessoa. No entanto, se 6 mil milhões e meio de pessoas modificassem, mesmo que pouco, as suas decisões quotidianas em direcções convergentes, produzir-se-ia uma revolução profunda na história da humanidade.*

Éric Lambin in *A terra sobre a corda bamba*, p 219



## Resumo

Ao nível internacional, têm sido desenvolvidos esforços no sentido da descarbonização do sector energético, nomeadamente pelo recurso a fontes renováveis e à microprodução, cujo carácter intermitente introduz novos desafios ao nível da gestão das redes eléctricas e da garantia de abastecimento. Ainda neste enquadramento, a liberalização dos mercados da energia a par com o surgimento de novas plataformas tecnológicas para gestão da procura, despoletaram o processo de reformulação dos conceitos tradicionais de gestão do parque electroprodutor e das redes eléctricas, cujas características básicas se têm mantido quase estagnadas ao longo das últimas décadas.

Neste domínio merece destaque o desenvolvimento de tecnologias de gestão dos consumos com informação em tempo real e capacidade de comunicação bidireccional em que se enquadram conceitos como as Redes Inteligentes (*Smart Grids*), os *Smart Meters* ou a *Energy Box*. O surgimento destas plataformas num contexto de mercado livre constitui a base conceptual e tecnologia para a implementação das medidas de *Demand Response*, destacando-se as estratégias de variação de preços no mercado de retalho, em particular o *Real Time Pricing*<sup>1</sup>.

Diversas organizações<sup>2</sup> internacionais e governamentais advogam a tese de que, no futuro, as Redes Inteligentes e o *Demand Response* desempenharão um papel fundamental na gestão dos sistemas eléctricos e na redução das respectivas emissões de CO<sub>2</sub>. No entanto, é necessário ultrapassar as barreiras legais e regulatórias que subsistem neste sector, sendo essencial o envolvimento proactivo das entidades reguladoras e dos governos.

O presente trabalho foca-se nas medidas de gestão da procura, suportadas em equipamentos de gestão de cargas enquadrados no conceito *Energy Box*, que viabilizem a optimização do diagrama de cargas, no sector residencial. Simulam-se os impactos potenciais do deslocamento das cargas domésticas agendáveis, em Portugal, e com base em cenários de penetração do veículo eléctrico no parque automóvel nacional, simulam-se os respectivos impactos no diagrama de cargas bem como os efeitos resultantes do seu deslocamento.

Da análise realizada conclui-se que, no cenário actual, o impacto do deslocamento das cargas agendáveis é ainda limitado face ao consumo total, representando ainda assim 3% do

---

<sup>1</sup> Preço em tempo real é geralmente entendido como a variação horária do preço da energia.

<sup>2</sup> IEA, EUROELECTRIC, Comissão Europeia, para citar alguns.

consumo nacional de electricidade, ou seja, cerca de 1.500 GWh anuais<sup>3</sup>. No entanto, a tendência para adoptar a mobilidade eléctrica como alternativa ao petróleo leva a crer que o veículo eléctrico, como carga agendável, irá crescer acentuadamente no curto-médio prazo e que o consumo de electricidade que lhe está associado irá acompanhar a sua disseminação no parque automóvel.

Por outro lado, aos ganhos potenciais afectos ao deslocamento de cargas devem adicionar-se outros ganhos como os decorrentes da interrupção e da reparametrização de cargas bem como as funções da *Energy Box* na gestão integrada das cargas, da microprodução e do armazenamento local.

Os benefícios potenciais de uma gestão eficiente dos consumos não se esgotam nos consumidores e nas *utilities*: A redução da dependência energética tem reflexos em diversos actores da economia e da sociedade que podem justificar a sua participação concertada nos investimentos inerentes. Por outro lado, estes produtos não são atractivos num cenário de tarifas reguladas, pelo que o futuro da *Energy Box* e do *Real Time Pricing* está relacionado com a evolução da política energética, dos mercados da electricidade e da legislação. Será necessário trabalhar os aspectos políticos que possam disponibilizar mecanismos de suporte económico para conseguir um sistema eléctrico eficiente e dinâmico.

**Palavras chave:** *Redes Inteligentes, Energy Box, Demand Response, gestão de cargas, cargas domésticas, veículo eléctrico.*

---

<sup>3</sup> Em 2011, o consumo na RESP - Rede Eléctrica de Serviço Público, no continente, foi de 50 TWh  
<http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaMensal.aspx>



## **Abstract**

At the international level, efforts have been developed towards the decarbonisation of the energy sector. The renewable sources and microgeneration usage fit in these aim, but its intermittent nature brings new challenges on the electrical networks management and security of supply. Moreover, the liberalization of the energy markets along with the emergence of new technologic platforms aimed for demand management, brought a new insight into the traditional concepts of the electricity networks management, whose basic characteristics have remained virtually stagnant over the past decades.

In this scope one needs to point out the enhancements achieved on management technologies which allow bidirectional communication and real-time management of the electric loads, involving concepts such as Smart Grids, Smart Meters or Energy Box. The emergence of those platforms in a free market context is the conceptual and technological basis for the implementation of the Demand Response, where the Dynamic Pricing Programs, and mainly Real Time Pricing, play an important rule.

Several International and governmental organizations, defend the theses that in the future Smart Grids and Demand Response will play a key role in the management of electrical systems and in the reduction of their CO<sub>2</sub> emissions. Nevertheless, it is necessary to overcome the legal and regulatory barriers that still exist on this sector, being essential a proactive involvement of the regulators and governments.

The focus of this study is in the Demand Response measures, supported by the emergent technologies for the electricity usage's management, framed in the Energy Box concept, which will allow the optimization of the residential sector's load curve. The potential impacts from shifting the schedulable domestic appliances in Portugal are simulated, and using a scenario-based penetration of the electrical vehicle in the national fleet park, the effects of shifting this new schedulable charge are simulated as well.

Supported in this analysis it is concluded herein that in the present scenario, the impact of load shifting is limited in relation to total consumption, still representing 3% of domestic consumption of electricity, ie about 1,500 GWh per annum. However, the tendency to adopt the electrical mobility as an alternative to oil, suggests that the electric vehicle as a schedulable load will grow sharply in the short to medium term, with the inherent consumption of electricity.

On the other hand, the potential gains from the load scheduling are just a part of the global gains associated to the Energy Box. To those, should be added other gains like the interruption and the temperature adjustments on thermostatically-controlled appliances, as well as the functions of the Energy Box as a platform to the integrated management of consumption, microgeneration and local storage.

The potential benefits associated to an efficient management of load curves covers a wider range of sectors, beyond the consumers and utilities: Reducing energy dependence has impacts in several actors of the economy and society, and can justify their participation in the inherent investments.

Moreover, these products are not attractive in a setting of regulated tariffs, so the future of the Energy Box and dynamic tariff schemes such as Real Time Pricing is related to the evolution of the energy policy, the electricity markets and legislation. It's necessary to work on the policy aspects to provide supportive economic mechanisms to achieve an efficient and dynamic electricity system.

**Keywords:** *Smart Grids, Energy Box, Demand Response, load management, domestic appliances, electric vehicle.*

## Índice

INTRODUÇÃO .....	1
CAPÍTULO I – METODOLOGIAS DE GESTÃO DA PROCURA .....	5
I.1 – Demand Side Management .....	5
I.2 – Demand Response .....	6
I.2.1 – Programas baseados em incentivos para controlo directo de cargas .....	8
I.2.2 - Programas baseados na variação de preços .....	8
CAPÍTULO II – A BASE TECNOLÓGICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DAS MEDIDAS DE DEMAND RESPONSE .....	11
II.1 – Redes Inteligentes ( <i>Smart Grids</i> ) .....	11
II.1.1 – O conceito de Rede Inteligente .....	11
II.1.2 – Arquitectura da rede .....	13
II.1.3 – Benefícios esperados .....	15
II.1.4 – Principais desafios .....	16
II.2 – Smart Appliances .....	17
II.3 – Home Area Network .....	18
II.4 – Smart Meters .....	20
II.5 – Advanced Metering Infrastructure .....	23
CAPÍTULO III – ENERGY BOX .....	25
III.1 – O conceito Energy Box .....	26
III.2 – Arquitectura da Energy Box .....	29
III.3 – A Energy Box e o Real Time Pricing .....	32
III.4 – O agente agregador .....	34
CAPÍTULO IV – CLASSIFICAÇÃO DAS CARGAS DOMÉSTICAS .....	36
IV.1 – Equipamentos de frio .....	38
IV.2 – Máquinas de lavar roupa .....	39
IV.3 – Máquinas de secar roupa .....	41
IV.4 – Máquinas de lavar louça .....	42
IV.5 – Ar condicionado .....	43
IV.6 – Termoacumuladores .....	45
IV.7 – Acumuladores de calor .....	46
CAPÍTULO V – O CONSUMO DE ENERGIA NO SECTOR DOMÉSTICO, EM PORTUGAL .....	48

V.1 – Repartição das cargas domésticas.....	48
V.2 – Diagrama das cargas domésticas .....	51
V.3 – Taxas de posse .....	53
V.4 – Perfis de consumo.....	53
CAPÍTULO VI – SIMULAÇÃO DO IMPACTO DO DESLOCAMENTO DAS CARGAS AGENDÁVEIS .....	57
CAPÍTULO VII – VEÍCULO ELÉCTRICO, SIMULAÇÃO DO IMPACTO DO DIAGRAMA DE CARGAS .....	62
VII.1 – Cenários de penetração do veículo eléctrico no parque automóvel.....	62
VII.2 – Simulação do débito de energia à rede eléctrica .....	65
VII.3 – Simulação do impacto da <i>Energy Box</i> na gestão do carregamento do veículo eléctrico. ....	67
CONCLUSÃO .....	72
Bibliografia.....	76

## Índice de figuras

Figura 1 - <i>Impactos na curva de consumo, que podem advir de medidas de DSM [13]</i> .....	6
Figura 2 - <i>Impactos da curva de consumo associados a estratégias de DR</i> .....	7
Figura 3 - <i>Ineficiências no uso da electricidade, resultantes do preço [16]</i> .....	9
Figura 4 - <i>Atributos de uma Rede Inteligente [41]</i> .....	12
Figura 5 - <i>Esquema simplificado de uma Rede Inteligente [46]</i> .....	13
Figura 6 - <i>Habitação ligada à Rede Inteligente através de um ponto de concentração [66]</i> ..	19
Figura 7 - <i>Dispositivos para interface de comunicação entre os equipamentos e o sistema de comando e controlo da energia na habitação [67]</i> .....	19
Figura 8 - <i>Principais iniciativas de instalação de Smart Meters, na Europa</i> .....	22
Figura 9 - <i>Nível de implementação de iniciativas Smart Metering, na Europa [71]</i> .....	22
Figura 10 - <i>Ilustração do conceito Energy Box [86]</i> .....	27
Figura 11 - <i>Arquitetura da Energy Box [88]</i> .....	30
Figura 12 - <i>Diálogo da Energy Box com subsistemas de gestão</i> .....	32
Figura 13 - <i>Perfil de consumo de um frigorífico</i> .....	38
Figura 14 - <i>frequência com que se abre a porta do frigorífico</i> .....	39
Figura 15 - <i>Perfil de consumo diário de um frigorífico</i> .....	39
Figura 16 - <i>Consumo típico para diferentes temperaturas de lavagem</i> .....	40
Figura 17 - <i>Perfil de consumo de uma máquina de lavar roupa</i> .....	40
Figura 18 - <i>Perfil de consumo de uma máquina de lavar roupa abastecida com água quente</i>	40
Figura 19 - <i>Perfil de consumo diário de uma máquina de lavar roupa</i> .....	41
Figura 20 - <i>Perfil de consumo de uma máquina de secar roupa</i> .....	41
Figura 21 - <i>Perfil de consumo diário de uma máquina de secar roupa</i> .....	42
Figura 22 - <i>Perfil de consumo de uma máquina de lavar loiça</i> .....	42
Figura 23 - <i>Perfil de consumo diário de uma máquina de lavar loiça</i> .....	43
Figura 24 - <i>Perfil de consumo de um aparelho de ar condicionado</i> .....	44
Figura 25 - <i>Perfil de consumo diário de um aparelho de ar condicionado</i> .....	44
Figura 26 - <i>Consumo dos aparelhos de ar condicionado na Califórnia, Verão de 1999</i> .....	44
Figura 27 - <i>Perfil de consumo de um termoacumulador de 300 litros</i> .....	45
Figura 28 - <i>Perfil de consumo diário de água quente</i> .....	46
Figura 29 - <i>Perfil de consumo diário de um termoacumulador</i> .....	46
Figura 30 - <i>Perfil de consumo diário de um acumulador de calor</i> .....	47
Figura 31 - <i>repartição dos consumos no sector residencial [92]</i> .....	49
Figura 32 - <i>repartição dos consumos no sector residencial [93]</i> .....	49
Figura 33 - <i>repartição dos consumos no sector residencial [94]</i> .....	50
Figura 34 - <i>Estrutura do diagrama de carga horário para o sector residencial, para um consumidor típico europeu [92]</i> .....	51
Figura 35 - <i>Estrutura do diagrama de carga horário para o sector residencial, em Portugal [93]</i> .....	51
Figura 36 - <i>Diagrama desagregado das cargas domésticas: Programa REMODECE e Iniciativa P3e</i> .....	52
Figura 37 - <i>Variação sazonal dos consumos atribuídos ao perfil BTN C, em 2010</i> .....	54

Figura 38 - Sobreposição das curvas <i>BTN C</i> , domésticos, <i>REMODECE</i> e <i>P3e</i> .....	55
Figura 39 - Diagrama das cargas domésticas nacionais, base para simulação.....	56
Figura 40 - Primeira simulação do impacto do deslocamento das cargas agendáveis.....	58
Figura 41 - Sobreposição das curvas do consumo total com e sem deslocamento de cargas (primeira simulação).....	59
Figura 42 - Segunda simulação do impacto do deslocamento das cargas agendáveis.....	60
Figura 43 - Sobreposição das curvas do consumo total com e sem deslocamento de cargas (segunda simulação) .....	60
Figura 44 - cenários de penetração do veículo eléctrico no parque automóvel português.....	64
Figura 45 - distribuição da percentagem de veículos eléctricos que são ligados à rede para carregamento .....	65
Figura 46 - Distribuição das necessidades de carga dos veículos eléctricos .....	66
Figura 47 - Impacto do carregamento dos veículos eléctricos, no diagrama de cargas doméstico.....	67
Figura 48 - Impacto do carregamento dos veículos eléctricos, no diagrama global de cargas das subestações da rede de distribuição .....	67
Figura 49 - Diagrama das cargas domésticas integrando o carregamento do veículo eléctrico. Cenário 1 .....	68
Figura 50 - Cenário 1, impacto potencial do deslocamento de cargas.....	68
Figura 51 - Diagrama das cargas domésticas integrando o carregamento do veículo eléctrico. Cenário 2 .....	69
Figura 52 - Cenário 2, impacto potencial do deslocamento de cargas.....	69
Figura 53 - Diagrama das cargas domésticas integrando o carregamento do veículo eléctrico. Cenário 3 .....	70
Figura 54 - Cenário 3, impacto potencial do deslocamento de cargas.....	70
Figura 55 - Impacto do carregamento do veículo eléctrico no diagrama de cargas das subestações (cargas modeladas) .....	71
Figura 56 - Impacto de um milhão de veículos eléctricos diagrama de cargas das subestações (com modelação e sem modelação) .....	71
Figura 57 - Diagrama estimado para o consumo típico de uma máquina de lavar roupa, .....	87
Figura 58 - Diagrama estimado para o consumo típico de uma máquina de secar roupa, .....	87
Figura 59 - Diagrama estimado para o consumo típico de uma máquina de lavar loiça, .....	87
Figura 60 - Modelo de difusão de uma inovação. ....	93
Figura 61 - Um exemplo de curva em <i>S</i> , representando a introdução e a disseminação do automóvel no mercado [101] .....	93
Figura 62 - Simulação da fase de amadurecimento, para cada cenário.....	95

## Índice de tabelas

Tabela 1 - <i>Cargas potencialmente controláveis e não controláveis</i> .....	37
Tabela 2 - <i>Repartição do consumo das cargas agendáveis</i> .....	50
Tabela 3 - <i>Taxas de posse dos equipamentos domésticos e respectivo factor de correcção [93], [94]</i> .....	53
Tabela 4 - <i>Valores do parâmetro <math>\beta</math></i> .....	63
Tabela 5 - <i>Consumo horário associado ao perfil BTN C (MW)</i> .....	88
Tabela 6 - <i>Consumo horário no sector doméstico (Watt/consumidor)</i> .....	88
Tabela 7 - <i>Potência (MW) consumida pelos consumidores domésticos, em 2010</i> .....	88
Tabela 8 - <i>Consumo típico dos equipamentos domésticos (MW) corrigido com as novas taxas de posse.</i> .....	89
Tabela 9 - <i>Deslocamento das cargas domésticas agendáveis para os períodos de vazio e supervazio</i> .....	90
Tabela 10 - <i>Impacto do deslocamento de cargas nos diagramas doméstico e das subestações</i> .....	91
Tabela 11- <i>Impacto do deslocamento de cargas no diagrama das subestações, com atenuação</i> .....	92
Tabela 12 - <i>Cenários de penetração do veículo eléctrico</i> .....	94
Tabela 13 - <i>Distribuição do número de veículos eléctricos ligados à rede para carregamento</i> .....	96
Tabela 14- <i>Distribuição da solicitação de energia à rede, para carregamento dos veículos eléctricos, em 2020</i> .....	97
Tabela 15 - <i>Consumo de energia decorrente do carregamento dos veículos eléctricos</i> .....	98
Tabela 16 - <i>Impacto do carregamento do veículo eléctrico no diagrama de cargas doméstico</i> .....	99
Tabela 17 - <i>Deslocamento das cargas domésticas agendáveis, incluindo o veículo eléctrico.</i> .....	100
Tabela 18 - <i>Impacto do carregamento do veículo eléctrico nos diagramas de cargas doméstico e das subestações da rede de distribuição</i> .....	101
Tabela 19 - <i>Simulação do impacto de um milhão de veículos eléctricos</i> .....	102

## Índice de anexos

ANEXO 1 – EVOLUÇÃO ESPERADA, EM ALGUNS CONSUMOS TÍPICOS [91] .....	87
ANEXO 2 – CONSUMOS DOMÉSTICOS .....	88
ANEXO 3 – FUNÇÃO DE DIFUSÃO DE INOVAÇÃO .....	93
ANEXO 4 – CENÁRIOS DE PENETRAÇÃO DO VEÍCULO ELÉCTRICO.....	94
ANEXO 5 – SOLICITAÇÃO DE ENERGIA À REDE, PARA CARREGAMENTO DOS VEÍCULOS ELÉCTRICOS .....	96
ANEXO 6 – IMPACTO DO VEÍCULO ELÉCTRICO NO DIAGRAMA DE CARGAS DOMÉSTICO.....	99
ANEXO 7 – SIMULAÇÃO DO DESLOCAMENTO DAS CARGAS DOMÉSTICAS, INCLUINDO OS VEÍCULOS ELÉCTRICOS.....	100



## **Acrónimos**

AMI - Advanced Metering Infrastructure

AMR - Automated Meter Reading

BEAMA - British Electrotechnical and Allied Manufacturers Association

BTN - Baixa Tensão Nominal

CNT - Center for Neighborhood Technology

ComEd - Commonwealth Edison

DA - Distribution Automation

DER - Distributed Energy Resources

DGGE - Direcção Geral de Energia e Geologia

DR - Demand Response

DSM - Demand Side Management

ERA - Energy Retail Association

ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

ESPP - Energy Smart Pricing Plan

EV - Veículo Eléctrico (*Electric Vehicle*)

GEE - Gases de Efeito Estufa

HAN - Home Area Network

IEA - International Energy Agency

IED - Intelligent Electronic Device

INE - Instituto Nacional de Estatística

INESC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores

INETI - Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial

IPQ - Instituto Português da Qualidade

LAN - Local Area Network

LCD - Liquid Crystal Display

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MID - Metering Industries Directive

MIT - Massachusetts Institute of Technology

PC - Personal Computer

PDA - Personal Digital Assistant

PIB - Produto Interno Bruto

PRIME - Programa de Incentivos à Modernização da Economia

REMODECE - Residential Monitoring to Decrease Energy Use and Carbon Emissions in Europe

RESP - Rede Eléctrica de Serviço Público

RI - Rede Inteligente

RTP - Real Time Pricing

SE - Subestações da rede de distribuição

SEMS - Smart Energy Management System

WAN - Wide Area Network

WEO - World Energy Outlook

## INTRODUÇÃO

As alterações ambientais inerentes à actividade humana congregam o resultado de políticas e de atitudes que têm vindo a alterar o equilíbrio natural do planeta: A deflorestação e a desertificação, a poluição das águas, o degelo, a extinção de espécies e a poluição atmosférica, são exemplos desses impactos. No que concerne à poluição atmosférica, a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) é reconhecida como a génese das alterações climáticas, que têm vindo a ser identificadas como uma das maiores ameaças ambientais, sociais e económicas que o planeta e a humanidade enfrentam na actualidade.

As alterações climáticas afectarão os elementos básicos da vida em todo o mundo como o acesso à água, produção de alimentos, saúde e meio ambiente. Usando os resultados de modelos económicos formais, o *Relatório Stern* [1] estima que, se não forem tomadas medidas, os custos totais e os riscos das mudanças climáticas serão equivalentes à perda de pelo menos 5% do PIB global em cada ano (o relatório reporta a 2006). Se uma gama mais ampla de riscos e impactos for tida em conta, a estimativa dos danos pode ascender a 20% do PIB. Em contraste, os custos da acção (redução das emissões de GEE para níveis não críticos) podem ser limitados a cerca de 1% do PIB global em cada ano. Os benefícios de uma acção rigorosa e antecipada ultrapassam de longe os custos económicos de não agir.

Apesar das críticas que este relatório suscitou, a hipótese aventada de que “*a longo prazo, se não forem tomadas medidas, a probabilidade de o aumento da temperatura ser superior a 5°C, ultrapassa os 50%*” é agora corroborada pela IEA [3] que alerta para um aumento de 6°C na temperatura média do planeta, caso não sejam alteradas as políticas que estão actualmente em vigor. No WEO, 2011, a IEA refere também que “*atrasar a acção é uma falsa economia: por cada 1\$ de investimento evitado no sector energético antes de 2020, serão necessários \$4,3 após 2020 para compensar o aumento das emissões*”. A questão da “falsa economia” torna-se ainda mais premente em países como Portugal cuja dependência energética ronda os 80%<sup>4</sup>.

O sector energético (electricidade, indústria e transportes) é responsável por cerca de 84% [5] das emissões de CO<sub>2</sub><sup>5</sup> e nesse sector o recurso a combustíveis fósseis situa-se acima dos 80% [5]. Prevê-se que o consumo de energia aumente em 33% no período 2010-2035 [4] e, perante as políticas actuais, até 2035 o consumo de gás natural poderá duplicar e o consumo de carvão poderá aumentar em 65% [3]. Prevê-se também a duplicação do número de automóveis, cabendo-lhe praticamente todo o aumento no consumo de petróleo [3].

---

<sup>4</sup> Eurostat - Tables, Graphs and Maps Interface (TGM) table

<sup>5</sup> Destaca-se pelo seu papel preponderante no portfolio dos GEE.

Se não forem tomadas urgentemente novas medidas, em 2017 o sector energético irá gerar todas as emissões de CO<sub>2</sub> permitidas no cenário 450<sup>6</sup>, não restando espaço para novas infraestruturas emissoras de carbono [3].

As alterações climáticas são um problema global que exige uma actuação internacional. É essencial criar uma visão compartilhada dos objectivos e metas de longo prazo bem como o estabelecimento de acordos e planos de acção internacionais que ajudem cada país a desempenhar o seu papel no cumprimento desses objectivos comuns.

O recurso a fontes renováveis, a massificação dos veículos eléctricos, a eficiência energética e a racionalização dos consumos são medidas estratégicas para conter a actual tendência de crescimento das emissões de carbono. Para que estas medidas sejam implementadas de forma integrada e eficiente, é fundamental a transformação do paradigma dos sistemas de energia eléctrica através da adopção universal do conceito *Smart Grid*.

A produção de electricidade e de calor representa cerca de 40% [5] do total de emissões de CO<sub>2</sub> e cerca de 30%<sup>7</sup> da energia eléctrica é consumida no sector residencial<sup>8</sup>. Prevê-se que a população mundial terá um crescimento médio anual de 3,5% no período 2010-2035 principalmente nos países em vias de desenvolvimento que deverão contribuir em 90% para este crescimento. Espera-se portanto um aumento considerável do consumo de energia no sector doméstico, o que reforça a importância da tomada de medidas na gestão dos consumos nesse sector.

As medidas de *Demand Response* são fulcrais para encorajar a racionalização dos consumos domésticos, sendo também indutoras de investimentos na eficiência energética. No sector residencial, a gestão dos consumos é uma tarefa exaustiva e fastidiosa que apenas será eficaz se for realizada de forma automática, respeitando as preferências e o estilo de vida do consumidor. A *Energy Box* responde a este desafio e revela-se um tema de grande interesse que merece ser profundamente explorado.

O presente trabalho foca-se nas redes inteligentes e na *Energy Box* como base conceptual e tecnológica para implementação das medidas de *Demand Response*. Simulam-se os impactos potenciais do deslocamento das cargas domésticas agendáveis, em Portugal, e com base em cenários de penetração do veículo eléctrico no parque automóvel nacional, simulam-se os

---

<sup>6</sup> Cenário em que as emissões de GEE tendem para um aumento de 2°C na temperatura média do planeta.

<sup>7</sup> IEA, Electricity/Heat in World in 2009. [http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY\\_CODE=29](http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=29)

<sup>8</sup> Os termos doméstico e residencial têm significado idêntico, neste trabalho.

respectivos impactos no diagrama de cargas bem como os efeitos resultantes do seu deslocamento.

O primeiro capítulo consiste numa abordagem às metodologias de gestão da procura, descrevendo-se os conceitos de *Demand Side Management* e de *Demand Response*, bem como as estratégias que lhes são associadas.

O segundo capítulo foca-se nas redes inteligentes como conceito tecnológico e de gestão dos sistemas eléctricos de energia. Referem-se os benefícios esperados, os principais desafios e alguns aspectos técnicos que viabilizam a implementação das medidas de *Demand Response*.

O terceiro capítulo é dedicado à *Energy Box* como conceito e como sistema que está a ser desenvolvido em parceria pelo MIT e pelo INESC Coimbra.

O quarto capítulo foca os aspectos relacionados com os perfis de consumo das principais cargas domésticas, no intuito de as classificar de acordo com o seu potencial de gestão a partir da *Energy Box*.

O quinto capítulo consta de uma abordagem ao consumo de electricidade no sector residencial, em Portugal, culminando na especificação do diagrama desagregado das cargas domésticas nacionais, que serve como base para as simulações realizadas nos capítulos subsequentes.

O sexto capítulo consiste na simulação do impacto, nos diagramas de cargas doméstico e das subestações da rede de distribuição, do deslocamento das cargas domésticas agendáveis. Simula-se o deslocamento de 100% destas cargas, ou seja, pretende-se uma visualização do impacto potencial do deslocamento das cargas agendáveis. Procede-se também a uma breve reflexão acerca de outros aspectos funcionais da *Energy Box* como plataforma de gestão integrada das cargas e do fornecimento de energia à rede.

O sétimo capítulo é dedicado à integração do veículo eléctrico como carga agendável, no diagrama das cargas domésticas, com base em três cenários de penetração do veículo eléctrico no parque automóvel nacional.

A conclusão deste trabalho consiste numa súpula dos aspectos que motivam a adopção da *Energy Box* como sistema de gestão das cargas domésticas e, relativamente à simulação dos seus impactos nos diagramas de cargas, observa-se que o deslocamento das cargas agendáveis é apenas uma das diversas funcionalidades deste sistema, pelo que se identificam algumas oportunidades de desenvolvimento em estudos futuros.



## CAPÍTULO I – METODOLOGIAS DE GESTÃO DA PROCURA

A promoção de medidas que incentivem a utilização racional de energia eléctrica está relacionada com as preocupações crescentes quanto à dependência petrolífera e aos aspectos ambientais decorrentes da produção de electricidade; é uma questão estratégica para a redução da dependência energética e viabiliza o adiamento de investimentos no reforço da capacidade do sistema.

A gestão da procura tem vindo a ser promovida recorrendo a programas de DSM em que se enquadram as medidas de DR, que visam influenciar o modo como o consumidor usa a electricidade, no intuito de aliviar a pressão nas horas de maior procura ou nas horas em que o preço de produção é superior. Este tipo de programas é normalmente aplicado não só pelo potencial interesse económico, mas também devido a questões de fiabilidade e segurança da rede.

### I.1 – Demand Side Management

O DSM engloba “*actividades sistemáticas das utilities<sup>9</sup> e dos governos desenvolvidas para alterar a quantidade e/ou o momento em que é consumida a energia*” para benefício colectivo da sociedade, das *utilities* e dos consumidores [13], ou seja, estes programas consistem no planeamento, implementação e controlo de actividades desenvolvidas para incentivar os consumidores a modificar os seus padrões de utilização da energia eléctrica e os seus objectivos incluem:

**i) Aposta na eficiência energética:** Uso de menor quantidade de energia mantendo ou melhorando a qualidade de serviço e os níveis de conforto. São medidas de eficiência energética a melhoria do isolamento dos edifícios, arquitecturas que tirem o máximo partido da exposição solar, a utilização de equipamentos eléctricos mais eficientes, etc.

**ii) Conservação energética:** Redução do uso da electricidade com possível impacto no conforto dos consumidores, ou seja, a poupança de energia que não resulta de uma utilização mais eficiente, mas do facto de os consumidores abdicarem do uso de algumas cargas durante os picos de consumo ou por solicitação da *utility* perante um incidente na rede.

**iii) Gestão de cargas (DR):** Alterações no uso da energia eléctrica que se podem traduzir no diferimento, antecipação, interrupção e reparametrização das cargas, de modo a reduzir os picos e/ou preencher os vales no diagrama de cargas. As medidas de DR podem ter algum

---

<sup>9</sup> Empresa que presta um serviço público, neste caso no sector eléctrico.

impacto no conforto dos consumidores, embora se considere que a gestão integrada destas medidas minimiza esses impactos.

**iv) Electrificação:** Envolve o aumento da solicitação energética e está normalmente associada à captação de clientes por parte da *utility*, que pode ser motivada pelo desenvolvimento de novos mercados e clientes. Em oposição às restantes medidas de DR, na electrificação promovem-se incentivos ao consumo.

**v) Cargas flexíveis:** Implica que a fiabilidade da rede depende do lado do consumo, ou seja, relaciona-se com a capacidade de adaptar as cargas à oferta e assim contribuir para a fiabilidade do sistema, que geralmente é assegurada pelo lado da oferta.

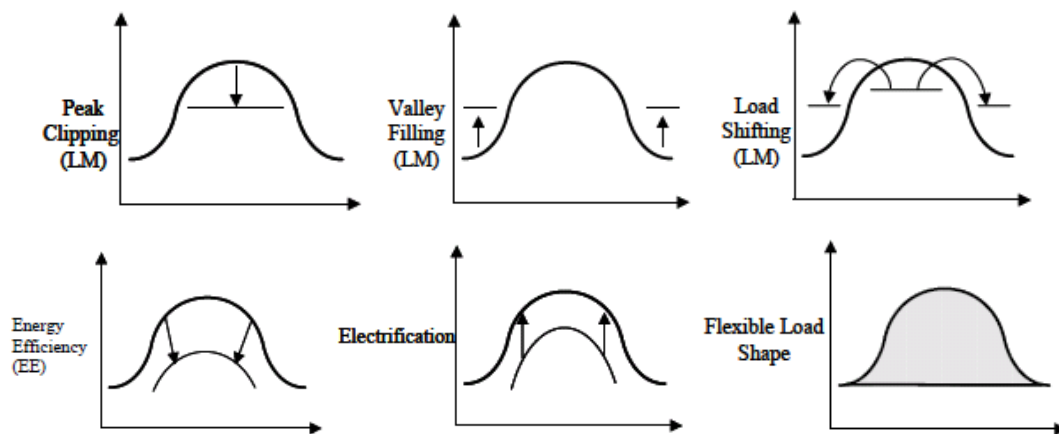


Figura 1 - Impactos na curva de consumo, que podem advir de medidas de DSM [13]

De modo mais abrangente, o DSM inclui soluções como o armazenamento em baterias, a microprodução e o recurso a fontes renováveis como o solar térmico ou a energia geotérmica.

## I.2 – Demand Response

O DR enquadra-se nos programas de DSM e pode ser definido como a alteração dos padrões de consumo em resposta a variações no preço da electricidade ou em resposta a incentivos financeiros para redução do consumo nos momentos em que se verificam preços elevados no mercado grossista ou quando a fiabilidade do sistema é comprometida [16].

Os sistemas de geração e de distribuição de energia eléctrica estão condicionados pelas políticas aplicáveis à oferta (como, quando e onde é gerada a electricidade, o modo como os centros geradores se ligam à rede e como se distribui a electricidade) e pelas políticas subjacentes à procura (esquema de preços, esforços de conservação, preferências dos



consumidores, meios técnicos disponíveis para gestão do consumo). Os programas aplicados ou a aplicar do lado da procura focam-se na optimização das curvas de consumo através da automatização da gestão das cargas, respeitando as permissas do consumidor. Assim, o DR está directamente relacionado com a capacidade dos consumidores de energia eléctrica responderem de modo automático a sinais que alteram a sua procura, tais como a variação dos preços e os sinais de emergência.

Nas geografias onde o parque electroprodutor enquadra um contributo relevante de fontes renováveis, a gestão eficiente da procura não resulta obrigatoriamente no alisamento do diagrama de cargas, podendo ver-se vantagem no incentivo ao consumo quando existe grande capacidade de produção decorrente, por exemplo, de condições meteorológicas favoráveis. Neste contexto, o armazenamento da energia no veículo eléctrico ou em baterias estacionárias encerra um potencial por explorar na modelação da procura face à oferta.

#### Estratégias de Demand Response

As estratégias de DR visam o alisamento dos diagramas de carga através da interrupção, deslocamento e/ou reparametrização das cargas.

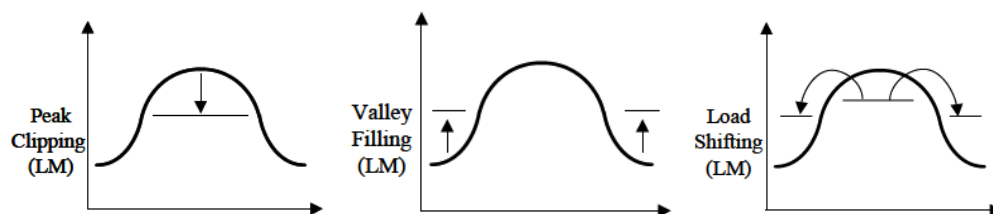


Figura 2 - Impactos da curva de consumo associados a estratégias de DR

As medidas de DR podem ser classificadas de acordo com o tipo de incentivos propostos ao consumidor:

- i) **Com base em incentivos para controlo directo de cargas:** São dados incentivos aos consumidores para que a *utility* possa reduzir ou interromper algumas cargas, perante situações de risco na rede ou em momentos de escassez na oferta. Nestes programas as alterações no uso da energia não são determinadas pelo consumidor.
- ii) **Com base na variação de preços:** As alterações no uso da energia são voluntárias. O consumidor decide se pretende reduzir ou deslocar cargas nos períodos em que o preço é mais elevado e pode também decidir se pretende injectar energia na rede, caso disponha de microprodução e/ou dispositivos de armazenamento.

### **I.2.1 – Programas baseados em incentivos para controlo directo de cargas**

Programas baseados em incentivos oferecem aos consumidores incentivos financeiros para reduzir o seu consumo em determinados períodos, por solicitação da *utility*, que normalmente advêm de ocorrências na rede ou de preços muito elevados no mercado grossista.

**Interrupção / corte de cargas:** Opções de redução de cargas, integradas no tarifário, e que oferecem descontos na factura ou crédito em conta se o consumidor concordar em reduzir o consumo durante contingências do sistema. Estes programas prevêm a aplicação de penalidades em caso de incumprimento e estão vocacionados para os grandes consumidores industriais e comerciais.

**Licitações de energia:** Programas que encorajam os consumidores a oferecer licitações em mercado para reduzir o seu consumo. Estes programas são oferecidos maioritariamente a grandes clientes.

**Programas de emergência:** Programas que proporcionam incentivos financeiros para a redução do consumo, nos períodos em que escasseia a margem de reserva.

**Controlo directo de cargas:** Programas em que o operador da rede pode desligar remotamente, durante períodos curtos, alguns equipamentos eléctricos (como o ar condicionado ou o aquecimento de água). Estes programas são oferecidos preferencialmente aos consumidores residenciais e pequeno comércio.

**Programas de mercado de capacidade:** Os consumidores oferecem potencial de redução de cargas como reserva do sistema (que funciona, de certo modo, como um aumento na margem de reserva). Tipicamente, os clientes recebem avisos prévios dos eventos e os incentivos consistem no pagamento adiantado e em penalidades caso não seja cumprido o programa de redução de cargas.

### **I.2.2 - Programas baseados na variação de preços**

Programas baseados em preços disponibilizam aos consumidores preços variáveis no tempo, que reflectem o valor e o custo da electricidade em diferentes períodos, induzindo nos consumidores uma tendência para reduzir o consumo de electricidade nos momentos em que os preços são mais elevados.

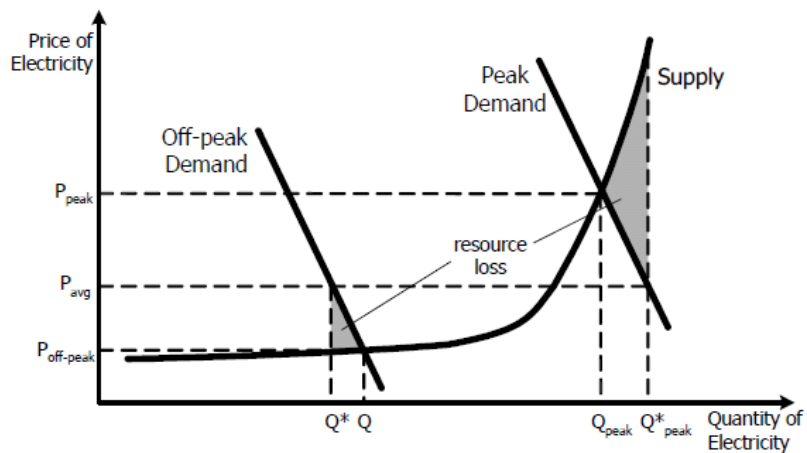


Figura 3 - Ineficiências no uso da electricidade, resultantes do preço [16]

De acordo com a figura 3, o preço mais eficiente é determinado pela intersecção das curvas da oferta e da procura: Nos períodos de vazio o preço deveria ser  $P_{off-peak}$ , sendo  $Q$  a energia solicitada à rede. Nos períodos de pico o preço deveria ser  $P_{peak}$ , sendo  $Q_{peak}$  o respectivo consumo. No entanto, a maioria dos consumidores paga tarifas  $P_{avg}$  fixas que não reflectem os custos marginais e, conseqüentemente, não incentiva o consumo nos períodos de vazio, em que a utilização óptima seria  $Q^*$ , nem a poupança nos períodos de pico, em que a solicitação óptima seria  $Q^*_{peak}$ .

### Estratégias de variação de preços

Destacam-se quatro estratégias de variação de preços; destas, o *Time-of-Use Pricing* e o *Pay As You Go Pricing* são as estratégias mais amadurecidas, enquanto o *Real Time Pricing* configura uma prática recente, cingindo-se a modelos teóricos e a alguns projectos experimentais.

**Time-of-Use Pricing:** O conceito de preços diferenciados para períodos de pico e fora do pico, no caso da electricidade, consiste na aplicação de tarifas que variam ao longo do dia. Esta metodologia encontra paralelo no sistema tarifário português, que enquadra uma diferenciação dos períodos de *ponta*, *cheia*, *vazio* e *supervazio*, sendo que a energia é tanto mais cara quanto mais intenso for o período em que se consome. O objectivo do *Time-of-Use Pricing* é o deslocamento de cargas dos períodos de pico para os períodos fora de pico e pode encorajar algumas alterações de comportamentos relacionados com a eficiência energética.

**Critical-Peak Pricing:** Nas tarifas *Critical-Peak Pricing* o preço normal pode ser muito inflacionado em situações específicas como as contingências do sistema eléctrico ou preços de produção extremamente elevados. Esta estratégia pode aplicar-se sobre qualquer outro

esquema de preços sendo que nos períodos críticos é emitido, aos consumidores aderentes, um alerta que antecede a subida do preço.

**Pay-As-You Go Pricing:** Trata-se de uma ferramenta de gestão de crédito utilizada pelas *utilities*, em que os clientes adquirem créditos para uso da electricidade previamente ao seu consumo. Frequentemente este sistema baseia-se em cartões que, em alguns casos, emitem um sinal de alarme quando atingem um valor baixo predefinido, alertando para a necessidade de aquisição de novo montante de energia. Normalmente o cartão oferece uma folga que faculta algum tempo ao consumidor para que adquira mais crédito sem que se verifique um corte da energia. Alguns cartões disponibilizam um conjunto de informações como o preço da electricidade, o tempo estimado de crédito e os totais de consumo diário.

**Real Time Pricing:** Consiste na variação em tempo real do preço da electricidade, para o consumidor final, acompanhando a sua evolução nos mercados. Trata-se de uma estratégia recente cuja adopção em larga escala encontra obstáculos diversos, tanto nas políticas regulatórias em vigor, como na falta de conhecimento dos seus impactos económicos e sociais.

Existe uma vasta literatura relativa à modelação dos impactos do RTP ao nível do comportamento dos consumidores, reacção dos mercados e impactos na economia, onde se encontram abordagens diversas cujos resultados nem sempre são condicentes, dado o extenso conjunto de entidades envolvidas, variáveis a considerar, correlatividade dos valores bem como variações geográficas e sociais, sendo difícil estabelecer modelos universais ou mesmo para uma região, que sejam totalmente confiáveis [18], [20]. Normalmente são utilizadas simplificações como empresas idênticas, custos marginais constantes ou funções lineares de oferta, simplificações essas que podem acarretar erros nos resultados. A implementação destas estratégias deve ser faseada propondo-se inicialmente a criação de projectos piloto<sup>10</sup> cujos resultados devem ser considerados como *inputs* para a determinação das metodologias a adoptar na sua expansão futura, de modo a mitigar potenciais efeitos adversos.

---

<sup>10</sup> [25] e [26] Recomendam a implementação de projectos piloto; [30] Recomenda cautela na extrapolação dos resultados dos projectos piloto, dado que geralmente são limitados na geografia e no tempo. [21] Refere que ainda não são claros os benefícios económicos e sociais destes programas, no logo prazo. [18] Refere que desconhece a existência de modelos analíticos que incluam os três principais vectores que em seu entender influenciam os preços no mercado, se estiver em vigor o RTP: O novo ponto de encontro entre a oferta e a procura, a tendência para o preço da oferta se aproximar do custo marginal e a alteração dos incentivos à flexibilidade na oferta.

O RTP é reconhecido como uma estratégia de grande importância na gestão da procura: [57] é um factor chave para explorar os ganhos potenciais das Redes Inteligentes; [53] Dezenas de projectos piloto em todo o mundo demonstraram que os preços variáveis tendem a reduzir os picos de consumo; [31] O RTP resultará numa alocação mais eficiente dos recursos, do que as estratégias de variação de preços menos sofisticadas; [26] “(...) os benefícios económicos do RTP são muito superiores aos das tarifas TOU Pricing.”

## CAPÍTULO II – A BASE TECNOLÓGICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DAS MEDIDAS DE DEMAND RESPONSE

### II.1 – Redes Inteligentes (*Smart Grids*)

As redes eléctricas foram concebidas inicialmente para transportar e distribuir energia numa lógica de oferta que segue a procura, ou seja, foram dimensionadas para responder aos picos de consumo. Actualmente, com o aumento da procura, a integração da produção distribuída e as políticas ambientais que incentivam a recorrer cada vez mais a fontes renováveis intermitentes, as redes eléctricas apresentam dificuldades na capacidade de resposta, mantendo os níveis de estabilidade e de fiabilidade. As Redes Inteligentes, por seu lado, encaixam neste cenário e facultam a gestão integrada de toda a rede, viabilizando o deslizamento de investimentos no aumento da capacidade de produção, transporte e distribuição. O fluxo bidireccional da informação, gerada em tempo real, faculto o constante balanceamento das cargas bem como a prevenção de avarias e a minimização do tempo de reposição do serviço, numa lógica de racionalização das infra-estruturas. Por outro lado, com a introdução de sistemas de medição avançados (*Smart Meters*), os consumidores passam a dispor de informação que lhes permite acompanhar e gerir os seus consumos.

#### II.1.1 – O conceito de Rede Inteligente

Ainda não existe uma definição universal de Rede Inteligente [41], [42]. A *task force europeia para as Redes Inteligentes* [48] define-a como uma rede eléctrica que pode integrar de modo eficiente o comportamento e as acções de todos os utilizadores a ela ligados (produtores, consumidores e *prosumers*<sup>11</sup>) no intuito de constituir um sistema de energia economicamente eficiente e sustentável, com baixas perdas e elevados níveis de qualidade e de segurança. A *Smart Grid European Technology Platform* define Rede Inteligente como uma rede eléctrica que pode integrar de forma inteligente as acções de todos os agentes a ela ligados: Geradores, consumidores e *prosumers*, de modo a fornecer electricidade de forma eficiente, segura e economicamente sustentável [43].

As duas definições referidas diferem em texto mas defendem o mesmo conceito. Esta abordagem encontra-se em diversa bibliografia, pelo que se assume que o conceito de Rede Inteligente abrange toda a cadeia de valor e todos os agentes do sistema eléctrico: As Redes Inteligentes são redes eléctricas que podem integrar de forma inteligente as acções do lado da

---

<sup>11</sup> Prosumer designa o consumidor que é também fornecedor de energia à rede, a partir da microgeração ou do armazenamento local.

oferta e do lado da procura, de modo a fornecer energia de forma eficiente, sustentável, segura e económica [44]. Uma Rede Inteligente não trata o AMI<sup>12</sup> o DA<sup>13</sup> e o DER<sup>14</sup> como assuntos separados; integra todas as funções a eles associadas para que os benefícios totais sejam superiores à soma dos benefícios das partes [45].

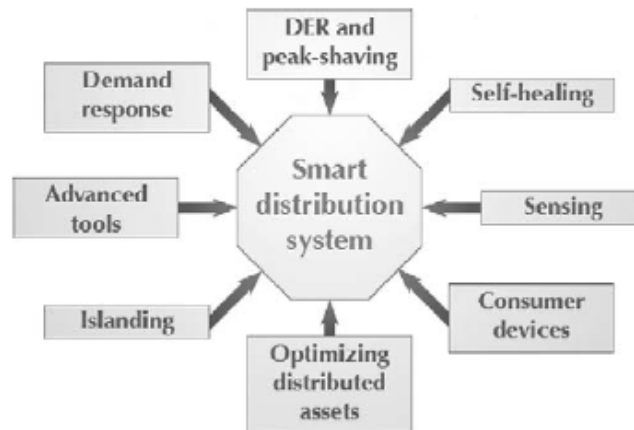


Figura 4 - Atributos de uma Rede Inteligente [41]

Para transformar as redes eléctricas em Redes Inteligentes, é necessário ultrapassar algumas barreiras, destacando-se as seguintes [43]:

- i) **Barreiras tecnológicas:** Ao nível dos standards, interoperabilidade, cibersegurança e privacidade dos dados.
- ii) **Barreiras na organização da pesquisa e desenvolvimento:** Verifica-se uma fragmentação dos esforços na fronteira e ao longo da cadeia de valor do sistema eléctrico.
- iii) **Falhas e distorções do mercado:** Os custos e os benefícios resultantes das actividades de investigação e desenvolvimento são assimétricos; apesar de os investimentos nas Redes Inteligentes serem largamente suportados pelas *utilities*, os benefícios abrangem largamente outros stakeholders (sociedade, economia, clientes, cadeia de produção, etc.). Adicionalmente, os regimes regulatórios actuais não reflectem o custo efectivo do uso da energia o que pode desmotivar a promoção de soluções mais eficientes.
- iv) **Barreiras do público:** Aceitação e adesão do consumidor face aos desenvolvimentos da infraestrutura.

<sup>12</sup> AMI: *Advanced Metering Infrastructure*

<sup>13</sup> DA: *Distribution Automation*

<sup>14</sup> DER: *Distributed Energy Resources*

## II.1.2 – Arquitectura da rede

As Redes Inteligentes suportam-se nas redes eléctricas tradicionais (infra-estrutura eléctrica) onde são adicionadas “infra-estruturas inteligentes” como as redes de comunicação bidireccional e os *Smart Meters*. Assim a dotação de “inteligência” nas redes eléctricas pode ser faseada, o que facilita a repartição no tempo dos respectivos investimentos e, por outro lado, permite que pela aprendizagem resultante de projectos experimentais se vão adoptando soluções cada vez mais harmonizadas com uma gestão eficaz e eficiente dos sistemas eléctricos de energia.

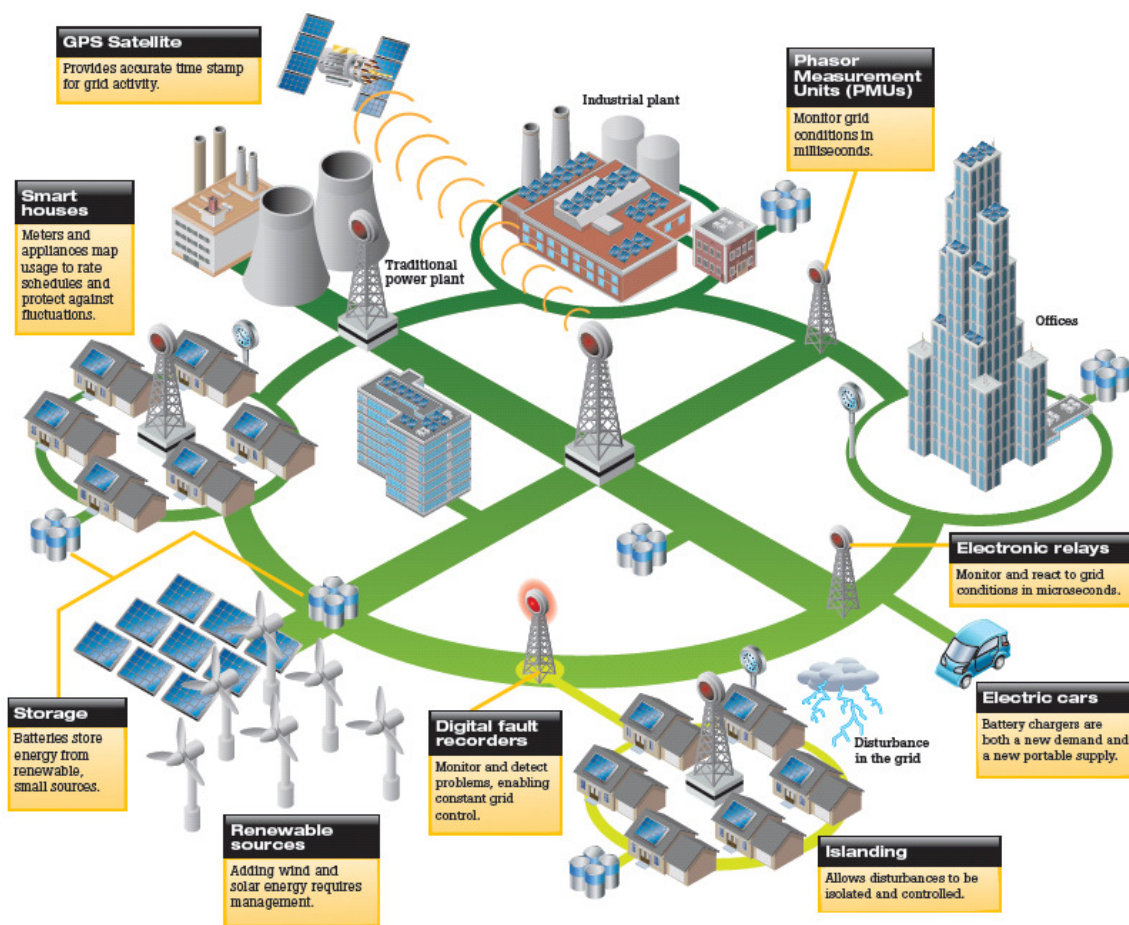


Figura 5 - Esquema simplificado de uma Rede Inteligente<sup>15</sup> [46]

<sup>15</sup> GPS Satellite – Fornece o sinal de tempo para actividade sincronizada da rede

Phasor Measurement Units (PMUs) – Monitoriza as condições da rede

Smart Houses – Smart Meters, Smart Appliances, gestão de cargas e do armazenamento/produção

Relés electrónicos – Monitorizam e reagem às condições de rede

Digital Fault Recorders – Monitorizam e detectam problemas, possibilitando o controle constante da rede

Islanding – Permite que as perturbações da rede sejam isoladas e controladas

Uma Rede Inteligente integra:

**i) Fornecimento de energia à rede**

- Centros produtores (centralizados) de grande dimensão;
- Produção distribuída, em particular a microprodução;
- Fornecimento de energia armazenada nas baterias do veículo eléctrico ou em baterias estacionárias.

**ii) Subestações e linhas de transporte e distribuição**

O trânsito da energia assenta na infraestrutura eléctrica tradicional (transformadores, disjuntores, seccionadores, instrumentação de medida, etc.), sendo no entanto alterada a sua topologia tendencialmente radial para uma topologia parcialmente em malha. A topologia das Redes Inteligentes é flexível e reconfigurável, o que envolve desafios em particular ao nível dos sistemas de protecção; a nova topologia da rede e o sistema de protecções têm que ser planeados em conjunto de modo a assegurar que as protecções são aplicáveis a uma variedade de configurações [45].

**iii) Infra-estruturas de comunicação:** A comunicação bidireccional entre a oferta e a procura é uma das características básicas numa Rede Inteligente, essencial por exemplo para a monitorização e controlo em tempo real dos fluxos energéticos e dos activos da rede e para a gestão automatizada da procura.

**iv) Centros de comando e controlo:** Com suporte nas infraestruturas de comunicação, é a partir dos centros de comando e controlo que se procede à gestão integrada da rede.

**v) Consumidores finais:** Passam a dispor de informação detalhada e em tempo real que lhes permite fazer uma gestão mais racional do uso da energia. Neste contexto são fundamentais os *Smart Meters* e os incentivos tarifários. Estão a ser desenvolvidas diversas tecnologias de suporte à gestão do consumo, destacando-se as *Smart Appliances*, o SEMS a *Energy Box* e o *Home Area Network*.

**vi) Mercados<sup>16</sup>:** Os conceitos subjacentes às Redes Inteligentes poderão ter impactos na filosofia dos mercados e no preço da electricidade. A oferta e a procura tornam-se descentralizadas e os consumidores passam a também fornecer energia à rede. No equilíbrio entre a oferta e a procura questões como “onde, quando e quanto” assumem maior relevo.

**vii) Agregadores:** Empresas de serviços de gestão da procura que podem desempenhar um papel importante, em particular na gestão das estratégias de variação de preços.

---

<sup>16</sup>À medida que as tecnologias *Smart Grid* são expandidas a maiores grupos de consumidores, a elasticidade da procura face ao preço aumenta, afectando o equilíbrio dos preços no mercado [19].



viii) **Entidades reguladoras:** São fundamentais para o estabelecimento de regras e para a supervisão do sistema eléctrico.

### II.1.3 – Benefícios esperados

i) **Melhoria da fiabilidade, segurança e eficiência da rede eléctrica:** Com a integração dos dispositivos electrónicos inteligentes (IED), das redes de comunicação bidireccional e dos centros de comando e controlo, o estado da rede é monitorizado em tempo real e a reacção automática a determinadas tipologias de falha possibilita o isolamento das zonas afectadas (islanding). A identificação imediata do tipo de defeito e da sua localização possibilita uma mais rápida mobilização de recursos para intervenção local.

ii) **Auto-recuperação:** usando tecnologias *Smart Grid* é possível administrar equipamentos nas redes de transporte e distribuição, simplificando sua manutenção e o controlo de perdas<sup>17</sup>. Uma rede auto-recuperável detecta e responde aos problemas rotineiros e rapidamente recupera se eles ocorrerem, minimizando interrupções e perdas financeiras.

iii) **Optimização dos activos:** A procura passa a ter tratada como um recurso controlável e a gestão dinâmica das operações e recursos da rede viabiliza o adiamento de investimentos para aumento da capacidade do sistema.

iv) **Integração das fontes renováveis:** Só com Redes Inteligentes será possível otimizar a produção a partir de fontes renováveis, dado que a sua intermitência exige grande flexibilidade e rapidez de resposta por parte da rede.

v) **Integração de todas as opções de geração e armazenamento local:** Numa Rede Inteligente enquadra-se a filosofia *plug-and-play* para a microprodução e o armazenamento local. A rede passa a ser bidireccional não apenas ao nível da informação mas também no que respeita ao trânsito de energia. Este conceito, que é já uma realidade, está pouco difundido em grande parte pelas restrições ao controlo dos fluxos energéticos no sentido consumidor rede. A gestão automática dos recursos, em particular no sector residencial, assume um papel importante na expansão da microgeração e do armazenamento local.

vi) **Participação activa dos consumidores:** Os consumidores passam a ter à sua disposição um conjunto de informações e tecnologias que viabilizam uma gestão adaptativa das

---

<sup>17</sup> Perdas financeiras relacionadas com a extensão geográfica e com o tempo de interrupção do fornecimento.

cargas reagindo a sinais de preços e a incentivos contratuais, minimizando a sua factura energética sem perda de conforto e sem depreciação da qualidade dos serviços de energia.

**vii) Sustentabilidade ambiental:** As Redes Inteligentes majoram a integração de energia renovável, induzem ganhos de eficiência e de racionalização energética, fomentam a integração da microgeração e armazenamento local e, preparando-se para integrar os veículos eléctricos, podem resultar em ganhos vultuosos na redução das emissões de CO<sub>2</sub> e da dependência de recursos fósseis.

**viii) Redução da dependência energética:** Com a redução do recurso a combustíveis fósseis, induzida pelos ganhos no aproveitamento das fontes renováveis, disseminação do veículo eléctrico e melhoria da gestão dos consumos e dos recursos da rede, auferem-se ganhos de ordem económica e na redução da dependência externa, nas geografias onde os recursos fósseis não são endógenos.

#### II.1.4 – Principais desafios

**i) Proteção de dados:** Com a implantação de tecnologias inteligentes como os *Smart Meters* ou a *Energy Box*, do lado dos consumidores, ficam registadas informações que permitem caracterizar os seus hábitos como as rotinas diárias e sazonais, o nível de vida, entre outros, pelo que importa criar mecanismos e regulamentação que preservem a privacidade dos consumidores. Devem adotar-se soluções que garantam a confidencialidade<sup>18</sup>, a privacidade<sup>19</sup> e a integridade<sup>20</sup> da informação.

**ii) Fiabilidade das redes de comunicação:** As redes de comunicação são uma das plataformas mais importantes numa Rede Inteligente, pelo que esses sistemas devem ser concebidos com mecanismos de segurança mitigadores das suas vulnerabilidades tanto no que respeita a falhas como quanto a intrusões no sistema.

**iii) Interoperabilidade:** Com a emergência dos dispositivos inteligentes, a integração e expansão das redes de comunicação e os novos sistemas de leitura e de gestão de cargas, é necessário o uso de um padrão global de comunicação, que reúna diversas filosofias a fim de atender às diferentes aplicações existentes. A principal razão para a falta de interoperabilidade reside na abundância de protocolos e formatos de dados que requerem o uso de soluções específicas do fabricante. Será necessário desenvolver soluções que enquadrem a integração de sistemas e equipamentos multi-função e multi-fornecedor bem como comunicações com standards abertos, flexíveis, seguros e limitados em número;

---

<sup>18</sup> Assegurar que a informação apenas é disponibilizada perante autorização do consumidor (adesão voluntária).

<sup>19</sup> Assegurar que cada consumidor mantém controlo sobre os seus dados pessoais.

<sup>20</sup> Assegurar que a informação entre o consumidor e a *utility* não pode ser alterada ou destruída.

- iv) Cibersegurança:** A complexidade da rede implica que existem vulnerabilidades que ainda não foram identificadas. É difícil estimar o risco de ciberataques devido à dimensão, complexidade e natureza dinâmica das redes [47].
- v) Convergência das soluções Smart:** Os conceitos relacionados com as Redes Inteligentes são recentes e os desenvolvimentos tecnológicos inerentes carecem de uma visão integrada das soluções a adoptar. Por exemplo, os fabricantes de electrodomésticos estão a introduzir nas *Smart Appliances* algumas funcionalidades que estão também a ser introduzidas em *Smart Meters* e estes, por sua vez, funcionam em alguns casos como o centro de controlo num SEMS. É necessário definir quais os sinais que devem ser disponibilizados e quais os comandos que devem ser aceites pelos diversos equipamentos e sistemas (incluindo os equipamentos eléctricos, a microprodução e os veículos eléctricos).
- vi) Adaptação dos mercados da eletricidade:** Os mercados da eletricidade enfrentarão novos desafios pelo que é necessário prever cenários para a sua adequação à nova realidade e para introduzir medidas mitigadoras de potenciais efeitos adversos. É fundamental continuar a investir em projectos piloto que fornecem inputs para os modelos analíticos que estão a ser desenvolvidos.
- vii) Supervisão e gestão legal e regulatória:** Identificação e redução das barreiras não razoáveis ou desnecessárias para adopção de tecnologias, práticas e serviços adequados ao desenvolvimento das Redes Inteligentes.
- viii) Adesão dos consumidores:** A adesão dos consumidores é um fator crítico de sucesso para as Redes Inteligentes [49]. O esquema de preços deve ser atractivo proporcionando incentivos para que o uso da energia seja mais eficiente e para cativar os consumidores pelas poupanças financeiras.

## II.2 – Smart Appliances

*Smart Appliances* são os equipamentos domésticos que se enquadram numa modernização do uso da electricidade, sendo dotados de capacidade de comunicação e controlo remoto, através de interface de comunicação integrado e são capazes de monitorizar o seu funcionamento bem como ajustar o modo de operação às preferências do consumidor. Para o efeito, podem oferecer funcionalidades como a emissão de alertas ao consumidor para que reaja a sinais vindos da *utility*, podem reduzir ou deslocar o uso da energia, automaticamente, com base nas opções previamente seleccionadas pelo consumidor e garantem a integridade do seu funcionamento durante as acções de gestão de cargas. Podem ainda integrar funções para

conciliar sinergias com os recursos renováveis disponíveis, deslocando o seu funcionamento para os períodos em que os sistemas de microprodução estão a gerar electricidade [62].

O consumidor pode sobrepor-se a todas as instruções previamente programadas ou provenientes da rede, sendo assegurado que as funções de salvaguarda da integridade do equipamento se mantêm activas.

As *Smart Appliances* devem estar habilitadas não só a gerar, transmitir e partilhar informação, mas também ser programáveis de modo a reagir a sinais exteriores gerados localmente na *Energy Box* (ou noutro dispositivo de controlo local ou remoto) ou com origem na *utility*. Devem transmitir ao painel de controlo a informação do seu consumo e receber, a partir deste, instruções baseadas nos sinais de preço. Além disso, devem ter a capacidade de adiar algumas funções, desfasando-as dos períodos de pico e permitindo à *utility* gerir o diagrama de cargas. Por sua vez, os consumidores podem beneficiar de preços dinâmicos, sendo notificados dos preços de pico num *Display* da *Smart Appliance*. Poderão ser programadas para evitar ou reduzir o uso da energia durante os períodos de pico, mas os consumidores podem sobrepor-se a essa programação, cabendo-lhes a decisão final. As *Smart Appliances* também podem reduzir significativamente as falhas de controlo manual dos consumidores, devido à sua capacidade de reacção automática [65].

### II.3 – Home Area Network

Na arquitectura de comunicações de uma Rede Inteligente, distinguem-se os seguintes conceitos:

**Wide Area Network (WAN):** Do ponto de concentração para as entidades que necessitam de comunicar remotamente com os contadores.

**Local Area Network (LAN):** Da habitação para um ponto de concentração (opcional).

**Home Area Network (HAN):** No interior da habitação.

A HAN é uma rede que suporta a comunicação entre as *Smart Appliances* e os dispositivos de controlo que podem ser de concepção simples com comando manual (no local ou à distância) como os *Displays*, o PC ou o PDA (conceito SEMS<sup>21</sup>), ou de concepção mais complexa como uma *Energy Box* que realiza uma gestão integrada e automática dos consumos e do funcionamento dos equipamentos eléctricos.

A habitação pode ligar-se directamente à rede ou através de um ponto de concentração [66].

---

<sup>21</sup> O SEMS surge como suporte de gestão de cargas no lado do consumidor e é suportado por plataformas tecnológicas como os *Smart Meters*, HAN, AMI ou *Smart Appliances*.

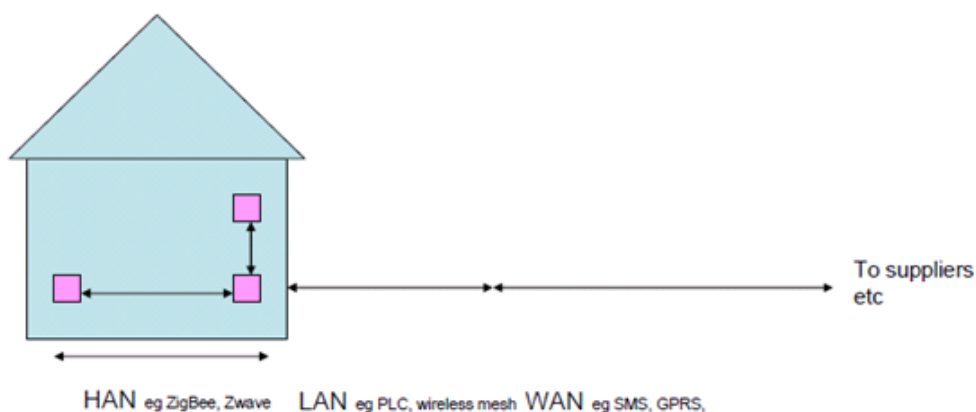


Figura 6 - Habitação ligada à Rede Inteligente através de um ponto de concentração [66]

Esta plataforma de comunicação deve basear-se em protocolos abertos e assegurar o diálogo com os equipamentos eléctricos. Para que esse diálogo se estabeleça os electrodomésticos devem ter uma porta de comunicação (como as *Smart Appliances*); no entanto, não é expectável que no curto prazo se assista a uma substituição massiva dos equipamentos eléctricos tradicionais por *Smart Appliances* pelo que, nestes casos, pode optar-se pela aplicação de dispositivos de concepção simples que se colocam no circuito de alimentação eléctrica e que podem comunicar com os dispositivos de monitorização e controlo. Estes dispositivos interagem com os electrodomésticos através de sinais on/off que facultam ou inibem a alimentação eléctrica; no entanto, encontram algumas barreiras nos equipamentos que incorporam programação electrónica: Por exemplo, no caso das máquinas de lavar, a selecção do ciclo só está disponível se a máquina estiver alimentada, ou seja, não é possível emitir um comando de iniciar ciclo de lavagem porque não houve selecção prévia. Já no caso dos equipamentos com programador electromecânico, o utilizador pode seleccionar o programa de lavagem e ter preparada uma ordem de iniciar ciclo para determinada hora, na unidade de comando e controlo.

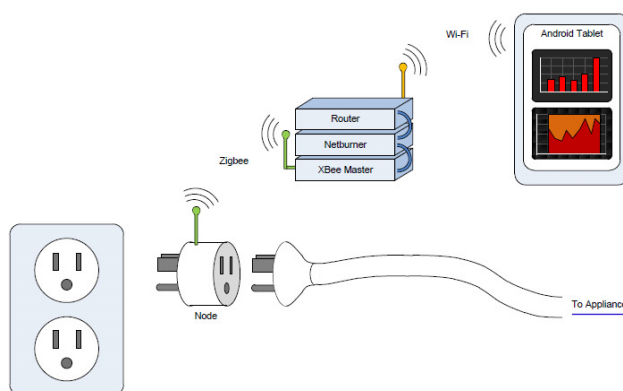


Figura 7 - Dispositivos para interface de comunicação entre os equipamentos e o sistema de comando e controlo da energia na habitação [67]

## II.4 – Smart Meters

Os *Smart Meters* são contadores dotados de capacidade de processamento que, além das funções básicas de medição e contagem e da capacidade de comunicação bidireccional, são também capazes de armazenar dados [68]. Normalmente os *Smart Meters* assumem a função de interface entre a rede e o consumidor e podem ter características mais ou menos sofisticadas, de acordo com o fabricante e com as especificações da *utility*.

Portanto, o conceito *Smart Meter* varia consideravelmente de acordo com a tecnologia, contexto e prioridades. As *utilities* têm sido o principal motor na investigação e no desenvolvimento dos *Smart Meters* pelo que as motivações para o seu desenvolvimento são diversas e os resultados da análise custo benefício variam entre geografias distintas. Existe um vasto conjunto de soluções tornadas possíveis pela adição das tecnologias de comunicação aos contadores de energia, que podem ser exploradas de diferentes formas e em diferentes contextos [68]. O termo *Smart Meter* é portanto um termo elástico, que varia de acordo com as circunstâncias que motivaram o seu desenvolvimento. Tratando-se de tecnologias emergentes, encontram-se abordagens diversas, na literatura, quanto às suas características básicas, ou seja, quanto às opções tecnológicas que caracterizam um *Smart Meter*.

Assim, a *BEAMA* e a *ERA* estabeleceram as seguintes características básicas de um *Smart Meter* [66]:

- Cumprimento das especificações MID;
- Capacidade de importação e exportação de dados (comunicação bidireccional entre o *Smart Meter* e a *utility*);
- Capacidade de comunicação local<sup>22</sup>;
- *Display* LCD<sup>23</sup>;
- Capacidade de armazenamento de dados;
- Relógio interno (registo de data/hora);
- Capacidade de processamento de tarifas múltiplas;
- Capacidade de configuração remota<sup>24</sup>;
- Comutação remota das funções de débito e de crédito;
- Capacidade de ligar /desligar remotamente;

---

<sup>22</sup>A comunicação local pode suportar-se num RTD (*Real Time Display*), internet, telemóvel ou TV digital e deve garantir a interoperabilidade [66].

<sup>23</sup> Disponibiliza informações básicas ao consumidor, como o uso da electricidade e o custo associado.

<sup>24</sup> Opcional, para a *BEAMA*.

A comunicação entre o consumidor e a *utility* é normalmente assegurada pelo *Smart Meter*, que por sua vez pode comunicar com outros dispositivos de monitorização e controlo como o computador pessoal, o PDA, *Displays* ou a *Energy Box*. Os *Smart Meters* apresentam as seguintes vantagens relativamente aos contadores tradicionais [69]:

- i) Dados detalhados do uso da energia são adquiridos em intervalos de tempo regulares. O detalhe dos dados disponibiliza à *utility* um maior grau de controlo sobre a gestão dos consumos e permite aos consumidores ajustar o seu uso da energia para reduzir custos.
- ii) Comunicação bidireccional disponível entre o contador e a *utility* e entre o contador e o consumidor, o que significa que além de disponibilizar leituras o contador também pode receber instruções da *utility* ou do consumidor.
- iii) Podem ser integrados em sistemas automatizados de gestão de cargas, permitindo ao consumidor a monitorização e a gestão remota das cargas (por exemplo, baixar alguns graus no aquecimento ou desligar uma aplicação)
- iv) Podem ser utilizados para notificar as *utilities* ou os consumidores das falhas ou problemas potenciais no sistema. Também estão habilitados a resolver alguns problemas remotamente, como desligar a energia numa situação potencialmente perigosa.
- v) Além das funcionalidades básicas os *Smart Meters* podem ter funções adicionais como a detecção de fraudes, a recepção de comandos remotos para ligar/desligar equipamentos, ou funções para gestão de equipamentos específicos como os sistemas de aquecimento de água ou o ar condicionado [70].

Na Europa, o estabelecimento das metas 20-20-20 impulsionou a exploração de fontes renováveis, bem como a implementação de tecnologias *Smart Grid* como os *Smart Meters* e os programas de *Distribution Automation*. Em particular, o *Smart Metering* está em franco crescimento, como ilustram as figuras seguintes.

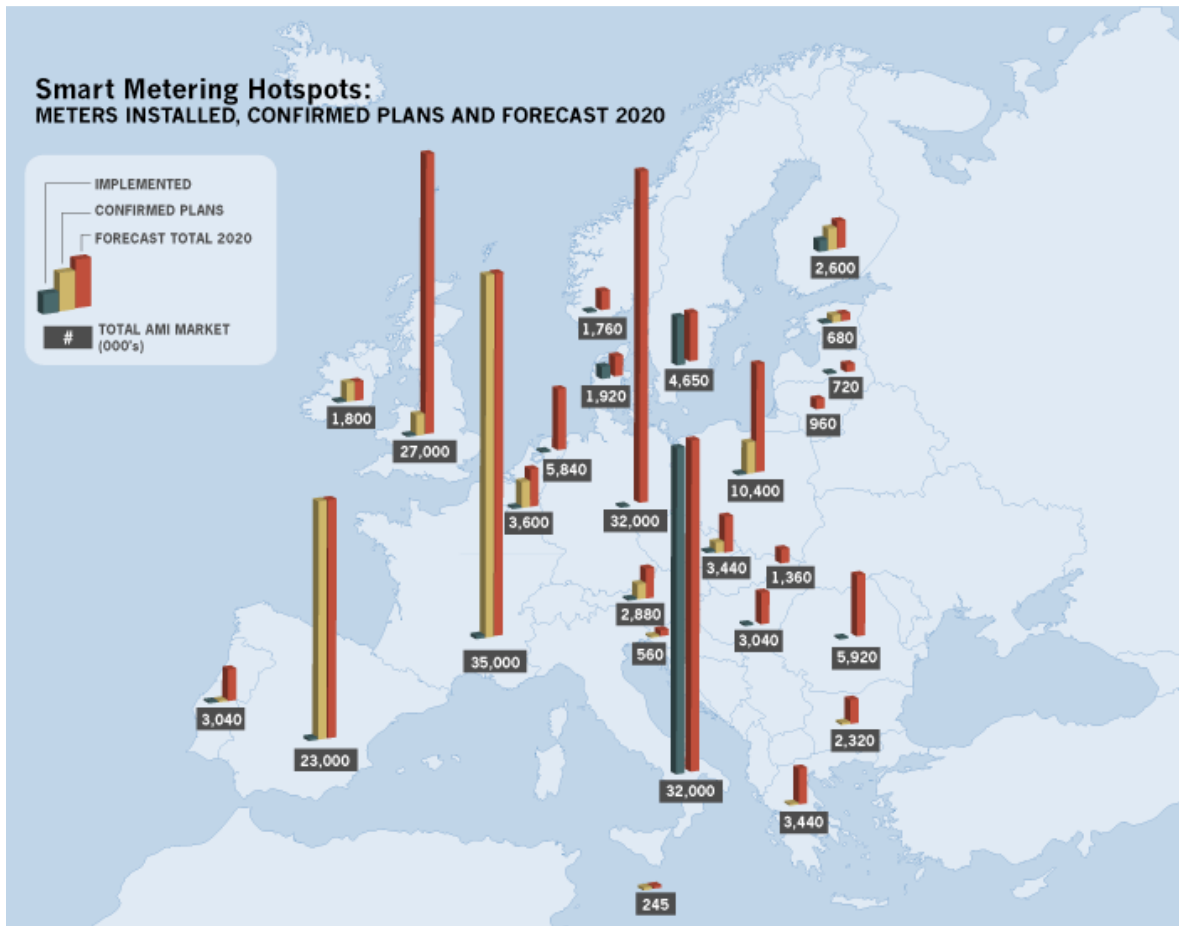


Figura 8 - Principais iniciativas de instalação de Smart Meters, na Europa<sup>25</sup>

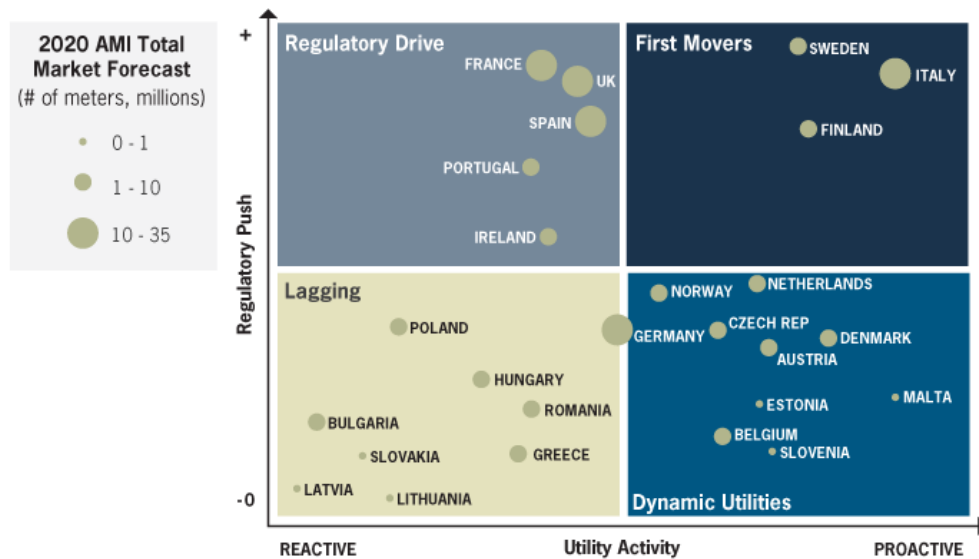


Figura 9 - Nível de implementação de iniciativas Smart Metering, na Europa [71]

<sup>25</sup> The Smart Grid in Europe 2012-2016: Technologies, Market Forecasts and Utility Profiles. <http://www.greentechmedia.com/research/report/the-smart-grid-in-europe-2012>



## II.5 – Advanced Metering Infrastructure

Os contadores tradicionais disponibilizam a leitura local do valor acumulado do consumo, em kWh, e normalmente são realizadas campanhas de leitura muito espaçadas no tempo. Actualmente a leitura local tende a ser abandonada, dando lugar à leitura remota que pode assentar num conceito simples de comunicação unidireccional<sup>26</sup>, o *Automated Meter Reading (AMR)*, ou num conceito que prevê a utilização de comunicação bidireccional, o *Advanced Metering Infrastructure (AMI)*.

O AMR resulta da integração de um módulo de comunicação no contador, que permite à *utility* executar algumas funções básicas de leitura mas não permite o controlo do contador em si, como desligar a energia ou alterar o tarifário, nem disponibiliza funções de DR. Relativamente aos sistemas tradicionais, o AMR tem vantagens de precisão na facturação, facilidade de alteração contratual como a mudança de fornecedor e maior facilidade na detecção de fraudes.

O AMI é uma infra-estrutura de medição avançada que integra conjuntos de *Smart Meters* e plataformas de comunicação bidireccional entre cada consumidor e a *utility*. As funcionalidades do AMI dependem intrinsecamente das funcionalidades dos *Smart Meters* que integra, pelo que a sua abrangência funcional varia consoante as soluções técnicas adoptadas para os respectivos *Smart Meters*.

Os *Smart Meters* medem e armazenam os consumos de electricidade e, potencialmente, outros parâmetros de qualidade da energia, em curtos intervalos de tempo. Através da plataforma de comunicação, esta informação é enviada ao centro de gestão e controlo (na *utility*) que pode, também este, emitir informação e comandos ao AMI. Esta estrutura disponibiliza facilidades como a introdução de tarifas variáveis ou os preços em tempo real, a alteração remota da potência contratada (desde que esta não exceda o limite físico da instalação eléctrica), alerta de fraude (quando o uso da energia é suspeitosamente baixo), a recepção de comandos emitidos pela *utility* para desligar temporariamente a energia em caso de defeito na rede e, principalmente, disponibiliza maior grau de controlo tanto aos consumidores como às *utilities*, ao fornecer informação detalhada dos consumos.

A disponibilização dos consumos detalhados e em tempo real, que podem ser vistos à distância também pelo consumidor, abre oportunidades de desenvolvimento da gestão integrada do uso da energia, em que a interacção com as *Smart Appliances*, com a produção distribuída e com os dispositivos de armazenamento permite a optimização do diagrama de cargas.

---

<sup>26</sup> No sentido contador – *Utility*

Deste modo, com a possibilidade de recepção de informações e comandos da *utility* e com a possibilidade de interacção com um sistema automático de gestão de cargas, estará estabelecida a base tecnológica para implementação das medidas de DR.

## **II.6 – Os conceitos “smart”**

Os conceitos “*smart*” que se associam aos novos produtos e serviços dos sistemas eléctricos, estão a ser desenvolvidos em diferentes contextos geográficos, sociais, económicos e políticos e todos se enquadram no mesmo conceito: Redes Inteligentes.

Assim, os impactos potenciais das Redes Inteligentes resultam da conjugação nem sempre linear dos impactos parciais dos restantes conceitos. Por exemplo, para analisar o impacto da *Energy Box* é necessário partir de alguns pressupostos como a existência de preços variáveis e uma implantação abrangente das infraestruturas tecnológicas adjacentes como sejam os *Smart Meters* e as *Smart Appliances* (ou dispositivos de interface no comando dos equipamentos eléctricos). Mas cada uma dessas variáveis como o esquema de preços, por exemplo, tem influência nos resultados. Ainda, sob condições idênticas (tecnológicas e contratuais) os resultados variam com a geografia, contexto sócio económico, etc.

De modo mais abrangente, inserem-se no conceito *Smart Grid* a microprodução, as fontes renováveis intermitentes, os sistemas de armazenamento e potenciais grandes consumidores como o veículo eléctrico. Neste sentido, as redes inteligentes vão melhorar a robustez das redes de distribuição e servirão como uma plataforma flexível de mercado para a participação dos consumidores.

A integração em redes de inovação de projectos piloto e da simulação da sua expansão são facilitadores da melhoria do sistema à medida que se vai implementando o novo paradigma dos sistemas eléctricos de energia. Trata-se de uma transformação profunda que ainda está a ser desenvolvida e cuja implementação não deveria esperar pelo processo natural de maturação das tecnologias e dos mercados: A maturidade do sistema tem que ser induzida pelas políticas e pelos regulamentos, que por sua vez são baseadas nos impactos esperados. Neste aspecto, é de grande importância a concertação e o alinhamento internacional para que a transição necessária se desenvolva com o mínimo desperdício de tempo e de esforços.

### CAPÍTULO III – ENERGY BOX

A tendência crescente para gerir o sector eléctrico com base na gestão da procura para que esta siga a oferta, tem encontrado obstáculos diversos, em particular de ordem técnica. A aplicação de medidas de DR tem sido mais direccionada para os grandes consumidores industriais, verificando-se uma lacuna ao nível dos pequenos consumidores, em particular no sector doméstico. Com as tecnologias subjacentes às Redes Inteligentes, nomeadamente os *Smart Meters*, as *Smart Appliances* e o HAN, viabiliza-se a adopção de medidas mais sofisticadas, como os preços em tempo real ou a interrupção de cargas por acção da *utility*.

O consumidor passa a ter à sua disposição um conjunto de informações que lhe permitem gerir o uso da energia de forma mais eficiente e mais económica, em resposta aos incentivos contratuais acordados com a *utility* que, por sua vez, passa a ter a capacidade de lhe oferecer constantemente produtos mais adaptados ao seu perfil.

Têm sido desenvolvidas e implementadas em projectos piloto diversas soluções para alertar o consumidor acerca de como e quando deve utilizar os equipamentos eléctricos, mas regra geral dependem da intervenção humana.

A inclusão de acções humanas no ciclo de DR incrementa tempo de resposta e envolve distrações, além de que é tecnicamente e economicamente ineficiente. Com a geração distribuída, as opções de armazenamento local, o veículo eléctrico e os equipamentos eléctricos passíveis de controlo externo, cada consumidor terá um vasto conjunto de opções na gestão da energia eléctrica, relativamente a quando utilizar, armazenar ou vender à rede, em resposta às condições da rede (reais e previstas), preços da electricidade e condições atmosféricas. Este processo de tomada de decisão altamente repetitivo, sob a incerteza das condições futuras, será incomportável para o consumidor, a não ser que tenha ao seu dispor um sistema automático de tomada de decisões que, respeitando as suas preferências individuais, assume o controlo das aplicações domésticas.

Estes sistemas, em que se enquadra a *Energy Box*, são necessários para que se atinjam níveis de eficiência desejados; sem um suporte automático de tomada de decisão, a resposta dos consumidores fica aquém do desejável, uma vez que o processo manual é exaustivo e fastidioso.

### III.1 – O conceito Energy Box

A *Energy Box* é um processador<sup>27</sup> baseado em programação dinâmica, que actua sem intervenção humana, respeitando critérios preestabelecidos ou definidos<sup>28</sup> pelo utilizador.

Este conceito, que está a ser desenvolvido pelo MIT em parceria com o INESC Coimbra no âmbito do programa MIT Portugal [86], pretende explorar o potencial de poupança dos pequenos consumidores, em particular no sector doméstico. Isoladamente, cada consumidor representa um potencial de poupança pouco significativo face ao consumo total, mas ao abordar uma estratégia de agregação podem obter-se ganhos não negligenciáveis. O desafio está na coordenação das poupanças parciais que podem ser realizadas com base nas novas tecnologias subjacentes às Redes Inteligentes e suportadas por esquemas de preços variáveis, em particular o RTP.

A gestão dos consumos no sector doméstico, suportada pelas novas tecnologias, não é um conceito novo. No entanto, os sistemas de gestão e controlo que têm sido desenvolvidos, em que o SEMS, suportado numa HAN, disponibiliza ao utilizador a recepção de informações e a emissão de comandos, raramente oferecem sugestões conducentes ao desempenho óptimo e não tomam decisões: Aguardam a decisão do utilizador. Por seu lado, a *Energy Box* toma decisões e actua em consonância com essas decisões, sendo que o utilizador poderá sempre sobrepor-se a este processo automático, pela selecção do funcionamento em modo manual.

Trata-se de um sistema de tomada de decisão baseado em regras que desencadeia acções induzidas por agentes<sup>29</sup>, que obedece a estímulos baseados no ambiente criado pelos agentes e que tem as seguintes funcionalidades:

- i) Gestão integrada do funcionamento dos diversos equipamentos numa óptica de satisfação do consumidor, entendida como a minimização do custo e maximização do conforto.
- ii) Respeita as preferências do consumidor, com base em regras como a temperatura ambiente dentro de uma determinada gama, a hora em que deve estar terminado o ciclo de funcionamento de um electrodoméstico, a hora em que deve estar completo o carregamento do veículo eléctrico, o nível mínimo de carga aceitável no veículo eléctrico, etc.

---

<sup>27</sup> *The Energy Box is an always-on background processor automating the temporal management of one's home or small business electrical energy usage* [86], [87].

<sup>28</sup> Definidos, no sentido em que os parâmetros de controlo que estabelecem as preferências do consumidor são alteráveis pela acção manual, no local ou à distância.

<sup>29</sup> Agentes actuadores: Os utilizadores quando emitem comandos de ligar/ desligar cargas ou quando alteram a parametrização por exemplo num termóstato inteligente e os agentes externos como a *Utility* ou um agregador.

- iii) Capacidade de aprendizagem e de adaptação aos hábitos diários do consumidor, como seja a probabilidade de ser utilizado determinado equipamento, dentro de uma janela temporal (efeito de *feedback*).
- iv) Dialoga com sistemas periféricos como a microgeração, os sistemas de armazenamento e o veículo eléctrico, integrando as opções disponíveis na gestão das cargas e na eventual venda de energia à rede, numa perspectiva de optimização da utilização dos diferentes recursos.
- v) Recebe informações externas como sejam as condições meteorológicas actuais e previstas e os preços actuais e previstos como inputs para gerir a microprodução e os equipamentos domésticos.
- vi) Recebe solicitações da *utility* para redução dos consumos, o que pode concretizar-se pelo deslocamento de algumas cargas ou pela sua interrupção durante breves períodos (por exemplo, desligar os equipamentos de frio e de climatização durante alguns minutos ou reduzir a temperatura programada num termóstato). Esta funcionalidade tem subjacente o estabelecimento de acordos bilaterais entre a *utility* e o consumidor;
- vii) Gestão coordenada de grupos de consumidores através da agregação, numa plataforma de gestão centralizada, das decisões de cada *Energy Box*, ou seja, uma plataforma *Energy Box* gerida por um agente agregador.

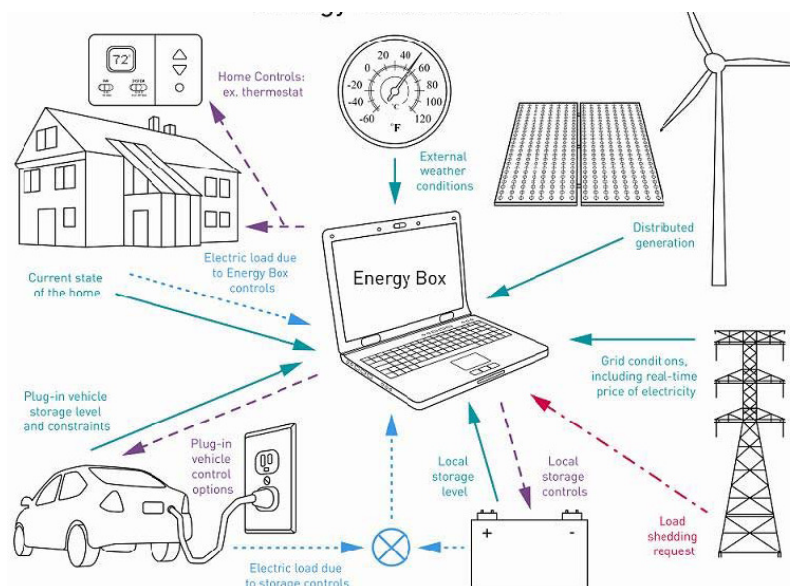


Figura 10 - Ilustração do conceito Energy Box [86]

D. Livengood [87] desenvolveu um conjunto de algoritmos baseados em programação dinâmica estocástica, que enquadra cinco conceitos principais: Decisões, estados, etapas, regras de transição de estados entre etapas e regras para seguir uma política óptima.

As **decisões** são as opções de controlo do residente que determinam a quantidade de energia que pode ser utilizada, armazenada e/ou vendida à rede.

Os **estados** correspondem às condições da habitação e da rede (incluindo o preço), bem como as condições atmosféricas. Cada estado constitui, no tempo, um ponto de tomada de decisão.

Cada **etapa** é vista como um ponto de tomada de decisão em tempo útil; o intervalo, em tempo, entre etapas depende da frequência com que são recebidas as actualizações das informações disponíveis para os estados do sistema.

As **regras de transição de estados entre etapas** são utilizadas no modelo de transição dinâmica, para calcular a probabilidade de uma variável de estado alcançar um determinado valor na próxima etapa, com base no estado do sistema na etapa presente e nas decisões tomadas durante essa etapa. Estas regras correspondem a descrições probabilísticas das condições meteorológicas, preço da electricidade, condições da rede e condições da residência ao longo do tempo. Por exemplo, caso a temperatura exterior actual seja 21°C, a **regra de transição de estado entre etapas** determina a probabilidade da temperatura aumentar para 22°C, manter-se nos 21°C ou diminuir para os 20°C na próxima etapa.

A **regra para seguir uma política óptima** guia o algoritmo de programação dinâmica a uma decisão que equilibre o conforto do residente, o estilo de vida e preferências de custo, tanto no momento actual como no futuro, determinando a sequência ideal entre consumir, vender ou armazenar tendo em conta o actual estado do sistema e a previsão do próximo estado.

Dadas as preferências do consumidor em termos de preços, conforto e estilo de vida, as decisões de controlo devolvidas pelo programa dinâmico estocástico reflectem o que o utilizador teria decidido quanto às opções de utilizar, vender ou armazenar electricidade, quando confrontado com as mesmas informações ao longo das etapas.

Tomando por base a gestão de cargas numa habitação que incorpora uma máquina de lavar loiça, um aparelho de ar condicionado, um veículo eléctrico e um painel fotovoltaico, indicam-se alguns exemplos destes conceitos:

#### Estados

Temperatura ambiente = T°C

Máquina parada, ou a funcionar;

Veículo eléctrico ligado ou desligado da tomada para carregamento;

Estado do tempo: Sol ou nublado;

Preço da energia: baixo, médio ou elevado.

#### Decisões, se preço elevado

Baixar (ou aumentar) a temperatura ambiente;

Adiar o início do funcionamento da máquina de lavar;

Vender à rede, energia armazenada nas baterias do veículo eléctrico;

Vender à rede, energia produzida a partir do painel fotovoltaico;

Utilizar a energia produzida pelo painel fotovoltaico para satisfazer o consumo das aplicações domésticas;

Utilizar a energia armazenada no veículo eléctrico para satisfazer o consumo das aplicações domésticas.

No caso de o preço ser baixo, as decisões possíveis seriam essencialmente as opostas a estas.

Tanto no cenário de preço elevado como no cenário de preço baixo, existe um vasto conjunto de decisões possíveis, tanto ao nível individual como na coordenação das decisões a tomar para um conjunto de equipamentos. O alcance da decisão óptima será orientado pelas regras de suporte à decisão que condicionam as preferências do consumidor (o que se entende por preço baixo, médio e elevado, quais as gamas de temperaturas de conforto, aceitáveis e inaceitáveis, a que horas a loiça tem que estar lavada, qual o nível de carregamento do veículo eléctrico que se pretende em determinada hora, entre outras). Assim, à partida são rejeitadas as decisões que não satisfazem as regras definidas. Podem encontrar-se várias soluções óptimas (e não apenas uma) pelo que devem também estar estabelecidas prioridades para o conjunto das decisões que satisfazem as regras, em cada instante. Este processo, iterativo, é válido para cada instante e é repetido quando se alteram os estados.

### **III.2 – Arquitectura da Energy Box**

A *Energy Box* interage com os agentes através de uma arquitectura modular e aberta. Pretende-se que seja versátil ao nível da comunicação com diferentes meios (Wi-Fi, rádio frequência (RF), Bluetooth, Internet, PLC, etc.), assegurando aos consumidores liberdade de escolha na compra dos equipamentos ou qualquer outra tecnologia de racionalização energética que possa ser controlada a partir da *Energy Box*. O código fonte aberto, a arquitectura modular e a comunicação multilingue possibilitam a integração na *Energy Box* de novos produtos e soluções de DR que venham a ser desenvolvidos no futuro [88].

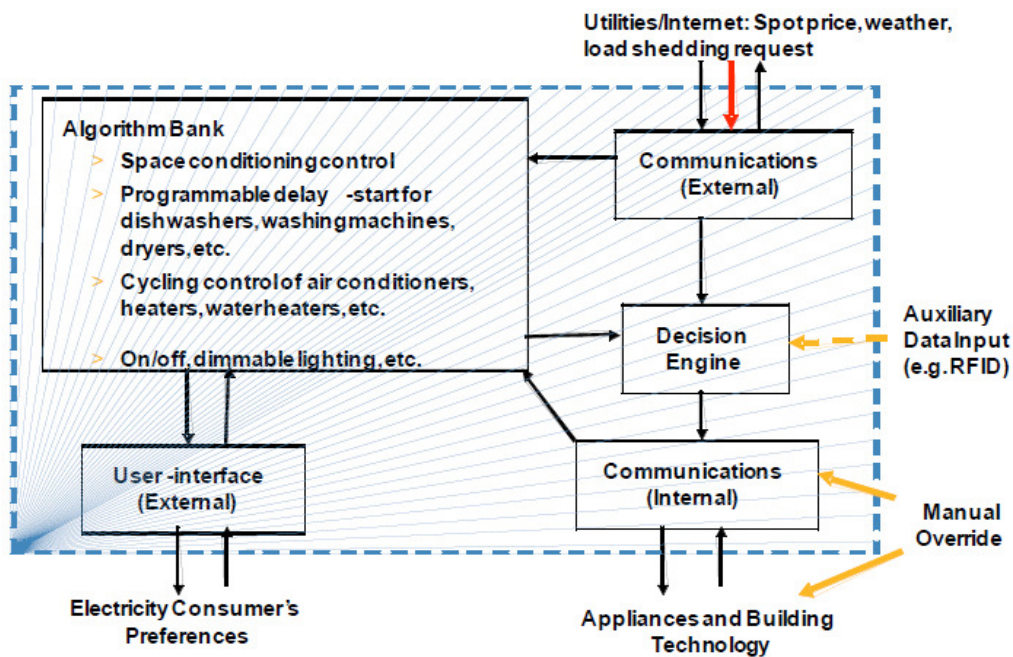


Figura 11 - *Arquitetura da Energy Box* [88]

### Interface com o utilizador

O interface com o utilizador deve ser simples e intuitivo; deve ter em conta a diversidade de utilizadores que, além de poderem ser mais ou menos propensos a aderir a novas tecnologias, não devem ver neste sistema uma preocupação adicional. O interface pode ser um *Display*, um computador pessoal ou um tablet (por exemplo) que dialoga com a *Energy Box* através de suportes de comunicação como a internet, WiFi ou Bluetooth. Esta comunicação deve assentar em protocolos abertos, dando ao utilizar liberdade para decidir qual o tipo de interface que pretende utilizar.

### Comunicações internas

Através do bloco de comunicações internas, a *Energy Box* recebe as informações de estado dos diversos agentes. Depois de esta informação ser processada pelo banco de algoritmos e pelo centro de decisão, o bloco de comunicações internas enviará os sinais de controlo que desencadeiam acções ao nível dos equipamentos domésticos.

### Comunicações externas

O bloco de comunicações externas é necessário para comunicar com as entidades externas à habitação, em particular com a *utility*. A comunicação externa poderia realizar-se por intermédio do *Smart Meter* que funcionaria também como interface de comunicação com o exterior. A opção de utilizar o *Smart Meter* como interface relaciona-se com o facto de que o contador de energia é um equipamento não violável que tem de garantir a confiabilidade dos



dados tanto para a *utility* como para o consumidor. Por outro lado, a tendência será para instalar *Smart Meters* independentemente de ser integrada no processo uma *Energy Box*; com a instalação do *Smart Meter* é também realizada a estrutura de suporte de comunicação com a *utility*, que não necessita de ser duplicada quando se instala um sistema automático de gestão de cargas.

### **Banco de algoritmos**

Toda a informação colhida, desde as preferências do consumidor, o estado da habitação (sensores), o estado dos equipamentos até ao preço da electricidade actual e previsto para futuro, é usada por um banco de algoritmos adaptados a cada consumidor. A arquitectura modular permite que o banco de algoritmos seja personalizável, de acordo com as opções individuais de cada consumidor. Depois de o banco de algoritmos determinar os sinais de controlo, estes são enviados ao “cérebro” da *Energy Box*: o centro de decisão.

### **Centro de decisão**

A coordenação do envio dos sinais de controlo da *Energy Box* para os diversos equipamentos da habitação cabe ao bloco que comporta o centro de decisão. Em cada momento, o centro de decisão sabe quais os equipamentos que estão a funcionar e qual o seu modo de funcionamento. Estão previstos três modos de funcionamento [88]:

- i) *User Control Mode*: Modo de operação normal. O centro de decisão emite sinais de controlo determinados pelo banco de algoritmos.
- ii) *Provider Control Mode*: Condições de operação em situação de emergência. Se existir um contrato com a *utility* que preveja a sua intervenção em situações de emergência, a *Energy Box* emite sinais de controlo determinados pela *utility*.
- iii) *Manual Override*: Faculta ao utilizador a imposição à *Energy Box* das suas decisões, ou seja, o utilizador tem a última palavra no que respeita ao controlo do funcionamento dos equipamentos eléctricos, caso assim deseje.

Para simplificar o processo de tomada de decisão, a *Energy Box* poderá comunicar com subsistemas de gestão de processos que gerem a microgeração e as operações de carga/descarga do veículo eléctrico e do armazenamento local.

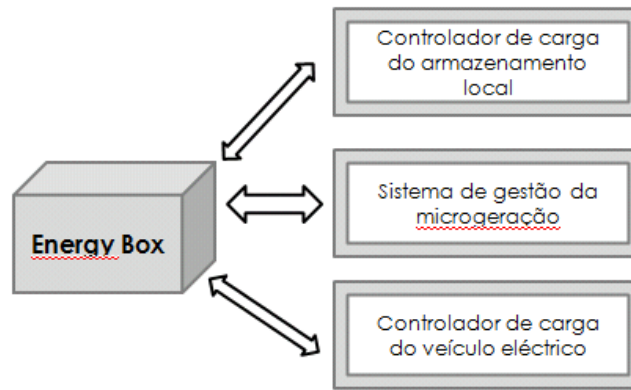


Figura 12 - Diálogo da Energy Box com subsistemas de gestão

Relativamente a cada um destes subsistemas, a *Energy Box* poderá:

- Receber informações de estado: Veículo eléctrico ligado à tomada de carga? Microgeração disponível<sup>30</sup> para que potência? Qual o nível de carga das baterias do veículo eléctrico e das baterias estacionárias?
- Emitir comandos: Armazenar energia (se preço dentro da gama para armazenamento e se a bateria não estiver totalmente carregada); alimentar a bateria do veículo eléctrico (tendo por base que o utilizador pretende o veículo carregado até à hora x com nível de carregamento superior a y% e preço satisfatório<sup>31</sup>); interromper o carregamento (por exemplo, porque a *utility* solicitou interrupção de cargas).

O diálogo com subsistemas pode ter alguma importância, dependendo da forma como serão desenvolvidos pelos fabricantes os interfaces com estes equipamentos, em particular o veículo eléctrico.

### III.3 – A Energy Box e o Real Time Pricing

A necessidade de manter permanentemente o equilíbrio entre a oferta e a procura, confere características específicas aos mercados da electricidade que, a par com as limitações técnicas que inviabilizam o trânsito de informação entre a oferta e a procura, levaram a que a satisfação da procura fosse garantida pelo incremento da potência disponível, tanto nos centros produtores como nas redes eléctricas. O foco quase exclusivo na oferta não criou

<sup>30</sup> Se a microgeração estiver disponível deverá estar a produzir electricidade, independentemente de se destinar à alimentação dos equipamentos eléctricos ou de ser vendida à rede (a qualquer preço, no caso de não ser necessária para uso doméstico).

<sup>31</sup> Neste trabalho, preço satisfatório significa que o preço está abaixo do limite máximo estabelecido para carregamento. O preço satisfatório poderia ser variável, assumindo valores de acordo com a tendência de evolução do preço da energia e com o tempo que falta para cumprir carga y% na hora x. Se a hora estipulada ainda for suficientemente distante, o preço satisfatório pode assumir um valor mais baixo, ao passo que se estiver próximo o limite temporal para que se cumpram as condições de carregamento, o preço satisfatório poderá ter que ser mais elevado.

incentivos para que a procura estivesse sensível ao real valor do serviço prestado. A razão principal reside nas limitações técnicas dos contadores tradicionais que levaram a que os intervalos entre as leituras dos consumos fossem muito alargados, pelo que pouco se conhece acerca dos perfis de consumo, que dependem principalmente do estilo de vida, da geografia e do contexto económico e social.

O amadurecimento dos mercados liberalizados obrigará a que cada vez mais se olhe para a satisfação do cliente, oferecendo-lhe produtos e incentivos inovadores que traduzam o real valor da electricidade e que simultaneamente não acarretem uma redução do seu bem estar. É neste sentido que os sistemas automáticos de gestão de cargas, em particular a *Energy Box*, desempenham um papel fundamental.

A mudança do paradigma dos mercados da electricidade, onde a filosofia da oferta que segue a procura transita para uma filosofia de procura que segue a oferta, está indubitavelmente associada à criação de incentivos que beneficiem os consumidores quando fazem uma gestão racional do uso da energia e à disponibilização de meios que facultem o fluxo de informação entre a oferta e a procura. As medidas de DR vão neste sentido e a sua implementação eficaz e eficiente passará decerto pela conjugação de diferentes estratégias. Neste aspecto, o RTP é uma das opções mais sofisticadas mas também uma das mais difíceis de implementar. É por isso que, à partida, o sucesso do RTP e da *Energy Box* estão interligados: Sem o suporte tecnológico das redes inteligentes e de um sistema automático de gestão de cargas como a *Energy Box*, os resultados do RTP ficam aquém do esperado, ao mesmo tempo que sem uma variação regular de preços, como o RTP, os clientes não têm incentivos para alterar o seu perfil energético. De facto, têm sido implementados diversos projectos piloto no intuito de avaliar os benefícios e os desafios associados ao RTP que comprovam esta necessidade. A título de exemplo, refere-se o caso do *Energy Smart Pricing Plan (ESPP)* iniciado em 2003 pela *Commonwelth Edison (ComEd)*.

A *ComEd*, em parceria com o CNT, iniciou em 2003 o ESPP com o objectivo de avaliar de que forma o RTP poderia incentivar os consumidores domésticos a reduzir o consumo de energia eléctrica nas horas de pico. O CNT e a *ComEd* promoveram o RTP como um programa permanente e, em 2008, abrangia 5000 participantes.

Em 2009 Hunto Alcott publicou um estudo [18] que avalia a resposta dos consumidores domésticos a este projecto piloto e que confirma que existe um enorme potencial de melhoria se a gestão das cargas for automatizada: Tendo por base uma gestão manual das cargas, suportada na informação dos preços em tempo real (sistema de alertas), esta experiência

resultou na conservação de energia nas horas de pico, mas não introduziu elasticidade no sentido, por exemplo, do deslocamento de cargas para as horas de vazio (apesar de se verificar uma diferença substancial dos preços) ou seja, uso de equipamentos como as máquinas de lavar continuou a ser feito durante os períodos tradicionais. A conservação foi conseguida pela redução de consumos como o ar condicionado, decerto com implicações no conforto. O estudo conclui que:

*“(...) vários factores podem alterar este resultado, no futuro, nomeadamente a utilização de dispositivos de gestão inteligente, que poderão alocar automaticamente os consumos de acordo com o preço verificado (...)” [18].*

#### **III.4 – O agente agregador**

Uma preocupação válida quanto ao RTP é que uma elevada penetração de respostas automáticas a preços que variam frequentemente poderia aumentar a instabilidade da rede eléctrica e a volatilidade dos preços. Esta questão também se aplica a outras medidas de DR: Se é dado um incentivo para que se reduza carga em dado momento (aumento do preço) e se posteriormente esse incentivo é retirado (redução do preço) é natural que se verifique uma recuperação das cargas. Quando o controlo das cargas é realizado por acção manual, por exemplo através de um *Display* ou no PC, os comandos para ligar equipamentos tendem a ser desfasados; mas se essa tarefa for realizada por uma *Energy Box*, pode ocorrer uma simultaneidade no arranque das cargas que, em larga escala, pode induzir um pico de consumo e, no caso dos preços em tempo real, esse pico pode traduzir-se num novo aumento do preço. Assim, a introdução dos preços em tempo real deve fazer-se acompanhar pela criação plataformas de supervisão e controlo com poderes para intervir na prevenção de efeitos adversos.

Livengood & Larson [86] propõem a criação de uma entidade gestora do conjunto das *Energy Box* instaladas numa região, que designam por plataforma *Energy Box*. Por exemplo, durante as horas de pico a *Plataforma Energy Box* iria coordenar o desfasamento dos consumos para ajudar a prevenir solicitações excessivas face à capacidade disponível para oferta. As condições atmosféricas favoráveis também podem disponibilizar uma maior capacidade de geração; neste caso, a *Plataforma Energy Box* também poderia coordenar a adequada indução no aumento do consumo, ligando alguns equipamentos eléctricos (deslocamento de cargas) e carregando alguns dispositivos de armazenamento para coadjuvar a estabilidade e a fiabilidade da rede [86].

A figura do agente agregador responde a esta necessidade pela emissão de sinais, que podem ser sinais de preço modificado, de acordo com o interesse da gestão da rede. Ao gerir grupos de consumidores de forma agregada, amplificam-se os efeitos das acções realizadas. Consoante a dimensão em potência de cada conjunto de consumidores, o agente agregador poderá passar a dispor de meios para responder a necessidades da *utility* tanto pela redução do consumo como pelo fornecimento de energia produzida em agregados de microprodução e de armazenamento (*Virtual Power Plants*).

## CAPÍTULO IV – CLASSIFICAÇÃO DAS CARGAS DOMÉSTICAS

Para operacionalizar as medidas de DR no sector residencial, importa classificar as cargas domésticas de acordo com a sua viabilidade de controlo. Identificam-se quatro grupos de equipamentos [17]:

- i) Cargas agendáveis:** Cargas que podem ser desviadas, ou seja, o seu funcionamento pode ser adiado ou antecipado dentro de uma janela temporal, sem redução dos níveis de conforto dos consumidores. O utilizador pode agendar a hora em que pretende que o serviço disponibilizado pelo equipamento esteja efectuado e o sistema de gestão de cargas otimiza o seu funcionamento. Inclui equipamentos como as máquinas de lavar e secar.
- ii) Cargas parametrizáveis:** Cargas que podem ser reparametrizadas pela modificação da temperatura regulada, alterando desse modo o seu consumo. Inclui os sistemas de ar condicionado, termoacumuladores e frio alimentar.
- iii) Cargas interrompíveis:** Cargas que podem ser interrompidas durante um período limitado no tempo. As limitações de tais interrupções são normalmente definidas pela necessidade de garantir a qualidade de serviço; por exemplo, nos equipamentos de frio não pode ser comprometida a qualidade dos alimentos e nas máquinas de lavar e secar devem ser minimizadas as interrupções dos ciclos de aquecimento e de funcionamento a quente, para evitar perdas (como o reaquecimento da água, nas máquinas de lavar). As cargas interrompíveis são também os equipamentos elegíveis para deslastre de cargas por acção da *utility*, perante uma ocorrência na rede. Inclui os sistemas de ar condicionado, termoacumuladores e frio alimentar.
- iv) Cargas não controláveis:** Cargas cujo funcionamento tem implicações não negligenciáveis no conforto dos consumidores. Inclui os equipamentos audiovisuais e informáticos, Iluminação e outros como as torradeiras, batedeiras, forno, fogão, etc.

Dado que na modelação do diagrama de cargas importa incentivar a redução do consumo nos períodos de pico e o deslocamento de cargas para fora dos períodos de pico, distinguem-se dois tipos de acções:

**Corte do pico:** Consegue-se pela interrupção do funcionamento de alguns equipamentos (cargas interrompíveis) e pela alteração do regime de funcionamento das cargas parametrizáveis, por exemplo através do aumento da temperatura programada num termóstato de um equipamento de frio ou da sua redução caso se trate de um equipamento de calor. A *Energy Box* pode ser utilizada para coordenar interrupções de curta duração em equipamentos

como os aparelhos de ar condicionado, acumuladores de calor, termoacumuladores e equipamentos de frio.

**Deslocamento de cargas:** Aplica-se aos equipamentos cujo funcionamento pode ser programado no tempo (cargas agendáveis) como sejam as máquinas de lavar roupa e loiça que podem funcionar mais intensamente durante a noite e nos fins de semana.

No projecto Smart-A [90] analisou-se a forma como as cargas domésticas podem ser ligadas aos sistemas de gestão de cargas e também as opções de aproveitamento de água aquecida com recurso a fontes renováveis, como o solar térmico, em vez de recorrer exclusivamente ao uso de electricidade.

O estudo focou-se em dez equipamentos: frigoríficos, arcas congeladoras, máquinas de lavar loiça, fornos, fogões, máquinas de lavar roupa, secadores de roupa, sistemas de ar condicionado, bombas de circulação para sistemas de aquecimento e termoacumuladores.

Quanto à aptidão de cada uma das cargas para ser gerida, concluiu-se que:

- As máquinas de lavar loiça apresentam grande potencial no deslocamento das cargas;
- As Máquinas de lavar roupa e secadores de roupa são opções atraentes para gestão da procura, mas exigem uma interacção mais próxima com o utilizar em comparação com outros equipamentos;
- Os equipamentos de frio permitem uma gestão inteligente, mas o seu potencial de poupança é relativamente baixo;
- Os Fornos e fogões não são adequados para programas de gestão de cargas.

	Agendável	Parametrizável	Interrompível	Não controlável
Frigorífico			✓	
Arca congeladora			✓	
Máquina de lavar loiça	✓		✓	
Forno				✓
Fogão				✓
Máquina de lavar roupa	✓		✓	
Secador de roupa	✓		✓	
Ar condicionado		✓	✓	
Bomba de circulação		✓	✓	
Termoacumulador		✓	✓	

Tabela 1 - Cargas potencialmente controláveis e não controláveis

As cargas potencialmente controláveis são as que podem ser interrompidas, reagendadas e/ ou reparametrizadas. A seguir, resumem-se as características principais dos equipamentos domésticos cujo funcionamento pode ser controlado.

Os diagramas apresentados nos pontos seguintes são representações de consumos típicos, na Europa [91].

#### IV.1 – Equipamentos de frio

Os equipamentos de frio mantêm o seu interior refrigerado através da evaporação de um líquido refrigerante, mantido num circuito fechado, que absorve o calor no interior do equipamento. Após cada ciclo de evaporação o refrigerante é condensado por acção de um compressor, voltando ao estado líquido e libertando para o exterior o calor absorvido. Trata-se de um comportamento cíclico em que o consumo de energia, inerente ao funcionamento do compressor, é também cíclico.

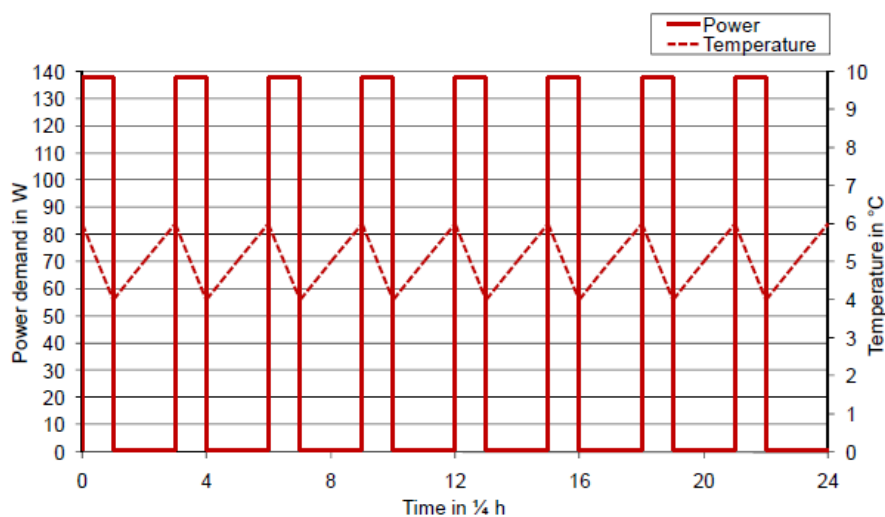


Figura 13 - Perfil de consumo de um frigorífico

O processo de arrefecimento é controlado por um termóstato e o consumo de energia depende de factores como a frequência com que se abre a porta ou a quantidade de alimentos não refrigerados que se colocam no seu interior.



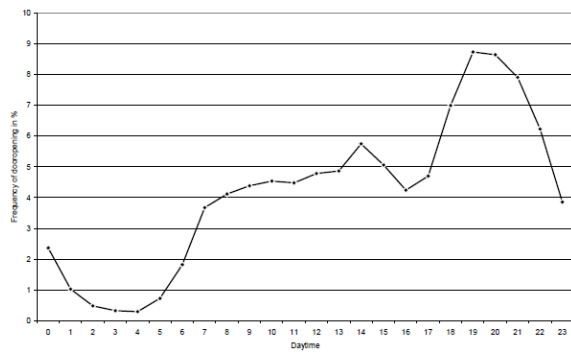


Figura 14 - frequência com que se abre a porta do frigorífico

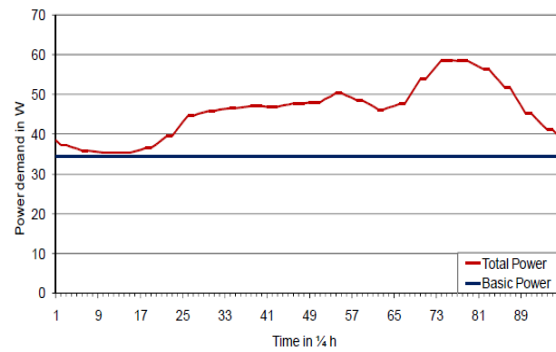


Figura 15 - Perfil de consumo diário de um frigorífico

Os equipamentos de frio (frigoríficos, arcas congeladoras e combinados) são responsáveis por cerca de 32% do consumo de energia eléctrica, numa habitação [93]. Tipicamente, estas cargas apresentam um regime de funcionamento cíclico controlado por um termóstato; no controlo do diagrama de cargas a sua gestão passaria pela interrupção do funcionamento durante curtos períodos de tempo, sem deterioração do serviço prestado. Esta possibilidade potencia o impacto positivo da *Energy Box* num cenário em que, perante uma sobrecarga da rede, a entidade gestora do sistema poderia emitir ordem para desligar os equipamentos de frio durante um intervalo de tempo curto mas que poderia ser suficiente para repor a estabilidade do sistema. Este controlo deve respeitar as variações de temperatura admissíveis, sem deteriorar a qualidade dos alimentos e, conseqüentemente, impor um tempo máximo durante o qual podem estar desligados e o tempo mínimo entre dois pedidos consecutivos [28].

## IV.2 – Máquinas de lavar roupa

No ciclo de funcionamento de uma máquina de lavar roupa, a electricidade consumida está associada às acções mecânicas (rotação do tambor, enxaguamento, bombas de circulação da água) e à acção térmica para aquecimento da água por resistência eléctrica, que absorve 80-90% do consumo total da energia num ciclo de lavagem. Assim, o programa e a temperatura seleccionados para lavagem influenciam o consumo de energia associado ao processo. No final do processo de lavagem o tambor roda a alta velocidade para extracção da água.

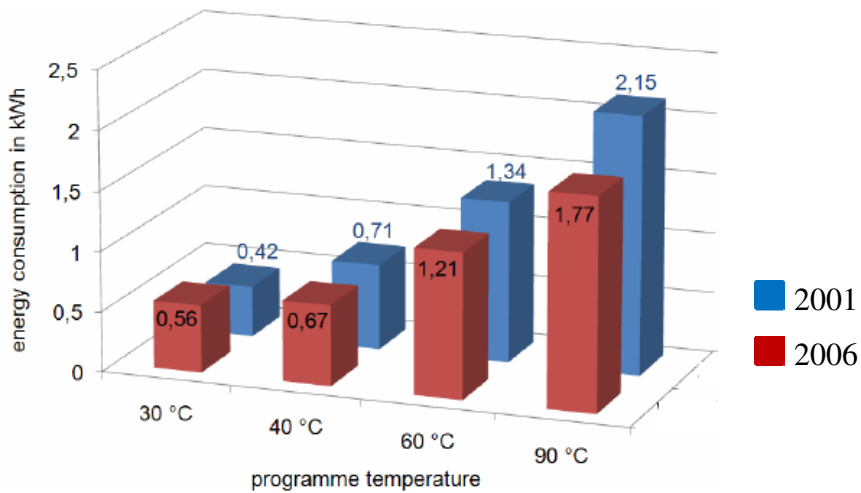


Figura 16 - Consumo típico para diferentes temperaturas de lavagem

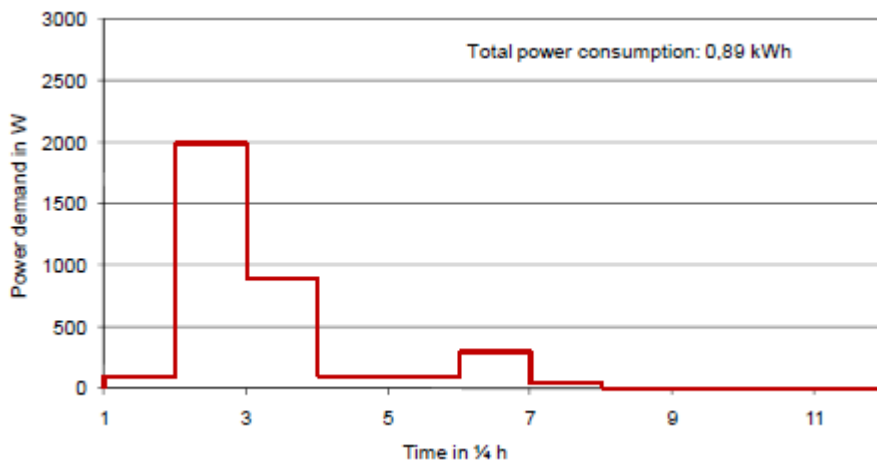


Figura 17 - Perfil de consumo de uma máquina de lavar roupa

Para reduzir o consumo de energia nos ciclos de aquecimento, pode recorrer-se a água previamente aquecida noutros sistemas (por exemplo, o sistema solar térmico); esta prática está pouco difundida.

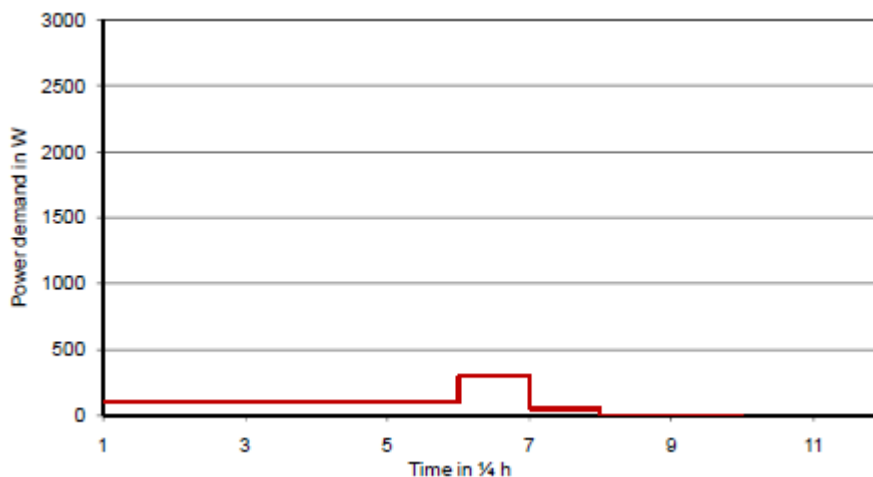


Figura 18 - Perfil de consumo de uma máquina de lavar roupa abastecida com água quente

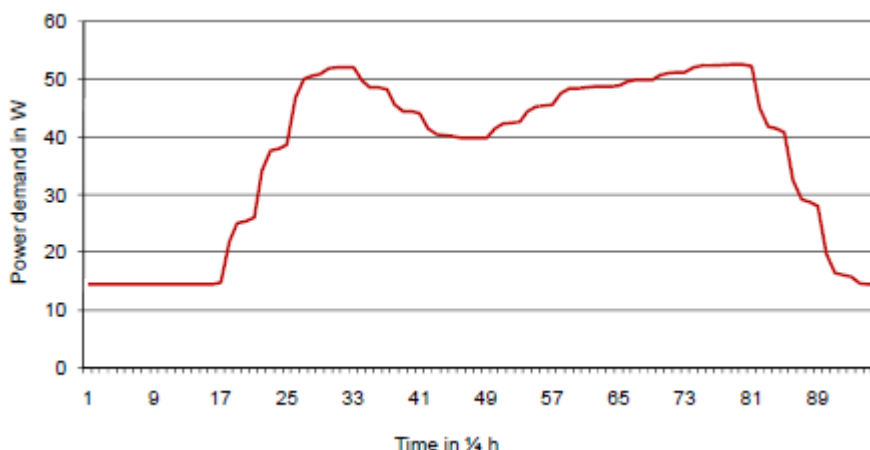


Figura 19 - Perfil de consumo diário de uma máquina de lavar roupa

As máquinas de lavar roupa são cargas passíveis de agendamento que poderá ser programado numa *Energy Box*, contribuindo para a redução dos picos de consumo.

#### IV.3 – Máquinas de secar roupa

As máquinas de secar roupa utilizam ar quente para absorver a humidade. O ar húmido pode ser retirado por evacuação para o exterior ou pela sua condensação, apresentando as máquinas de evacuação menor consumo por ciclo. Maioritariamente, a energia é consumida no processo de aquecimento do ar, através de resistência eléctrica. O processo de secagem é controlado por um temporizador ou por detecção de humidade.

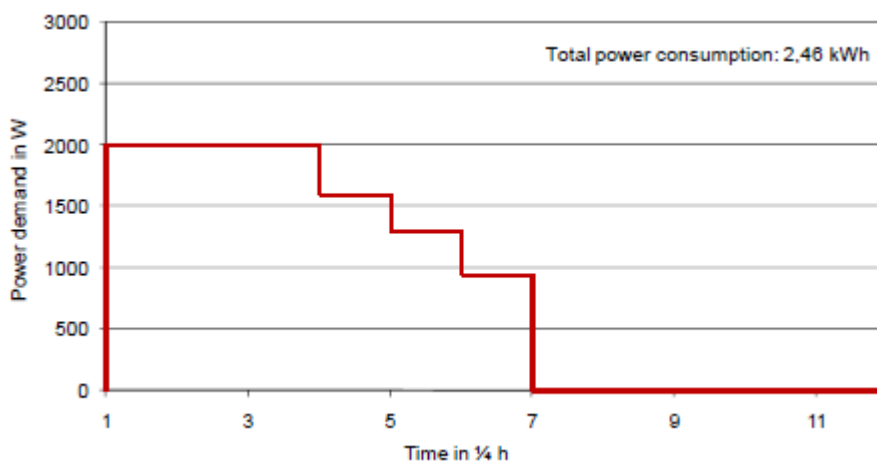


Figura 20 - Perfil de consumo de uma máquina de secar roupa

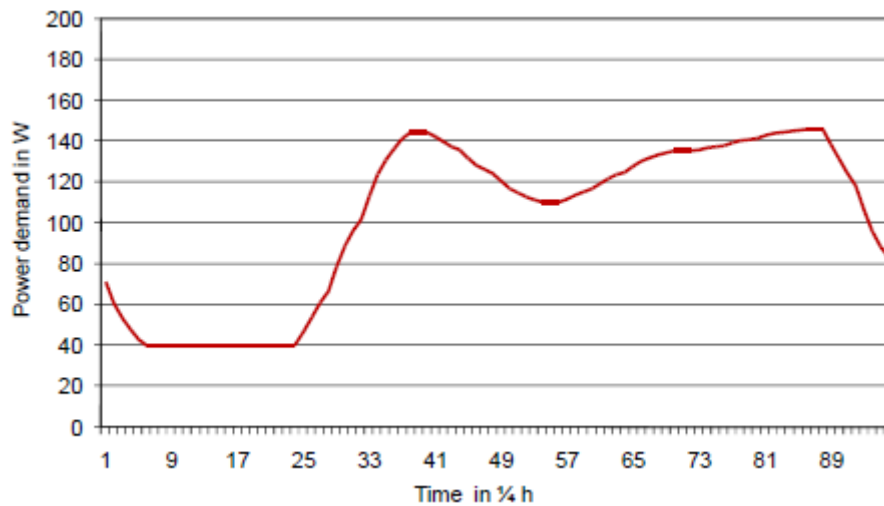


Figura 21 - Perfil de consumo diário de uma máquina de secar roupa

Tal como as máquinas de lavar roupa, as máquinas de secar também são cargas passíveis de agendamento que poderá ser programado numa *Energy Box*, contribuindo para a redução dos picos de consumo. Também neste caso, as consequências da interrupção do funcionamento não se apresentam como potencialmente graves, pelo que poderão ser consideradas no conjunto das cargas interrompíveis.

#### IV.4 – Máquinas de lavar louça

No ciclo de funcionamento de uma máquina de lavar louça os principais focos de consumo de electricidade relacionam-se com o aquecimento da água para lavagem e com o aquecimento interior para secagem, ambos por meio de resistência eléctrica, representando mais de 80% do consumo total num ciclo de lavagem. O processo é controlado por um controlador mecânico ou electrónico.

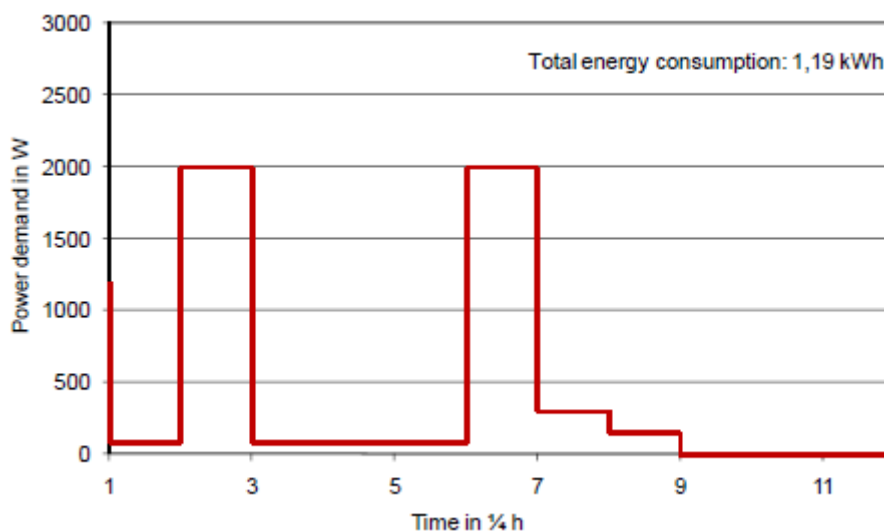


Figura 22 - Perfil de consumo de uma máquina de lavar louça

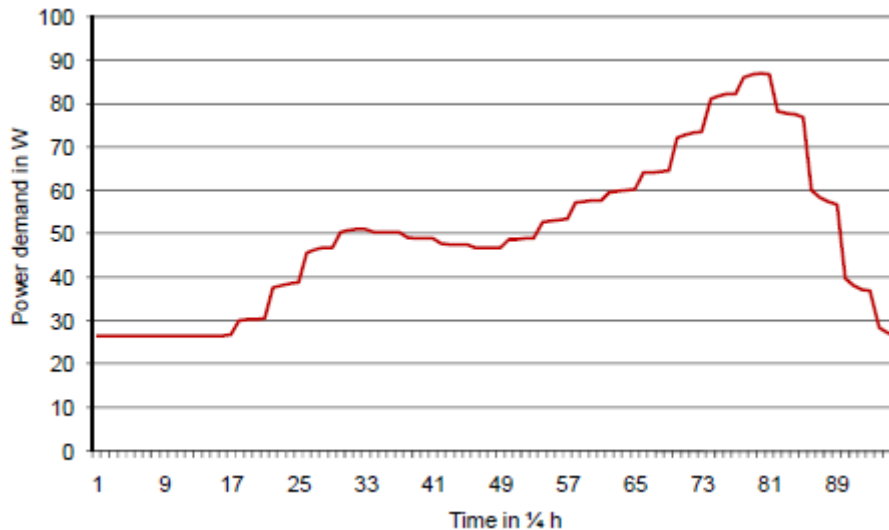


Figura 23 - Perfil de consumo diário de uma máquina de lavar loiça

Na sua maioria, as máquinas de lavar louça são ligadas no período que se segue às refeições, o que apresenta um elevado potencial de controlo, nomeadamente o agendamento, uma vez que um dos principais objectivos por parte dos consumidores é ter a louça lavada e seca a uma determinada hora e, nesse caso, um dispositivo de gestão de cargas tipo *Energy Box* poderá acautelar a sua colocação em funcionamento com a devida antecedência, em períodos desfasados dos picos de consumo.

Para além do potencial de agendamento destas cargas, há também a possibilidade de interrupção do ciclo de funcionamento, em particular, o ciclo de secagem. Se o ciclo de lavagem terminar com antecedência suficiente para assegurar que a louça seca até à hora de ser utilizada, o consumidor poderá abdicar desta fase sem transtorno para o seu conforto.

#### IV.5 – Ar condicionado

Os aparelhos de ar condicionado refrigeram o espaço injectando ar frio no compartimento e retirando o ar quente para o exterior. Normalmente incorporam sistemas de controlo da humidade e da qualidade do ar. Para produção de frio é utilizado o sistema de evaporação e compressão de um líquido refrigerante, como nos equipamentos de frio. Trata-se de um equipamento direccionado para o conforto e os seus ciclos de funcionamento dependem da temperatura seleccionada.

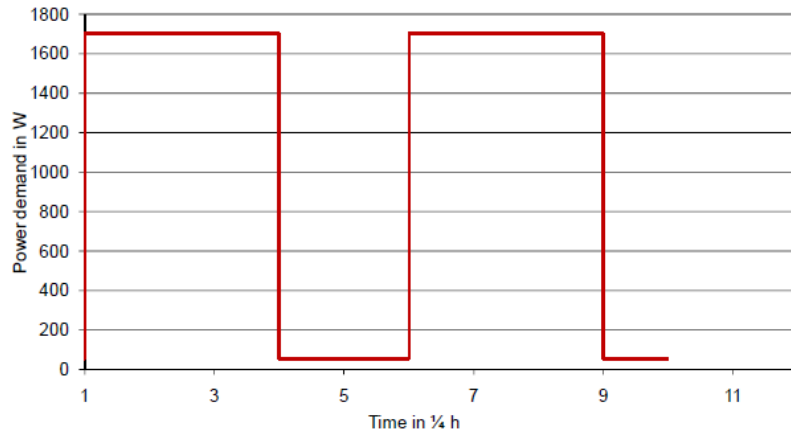


Figura 24 - Perfil de consumo de um aparelho de ar condicionado

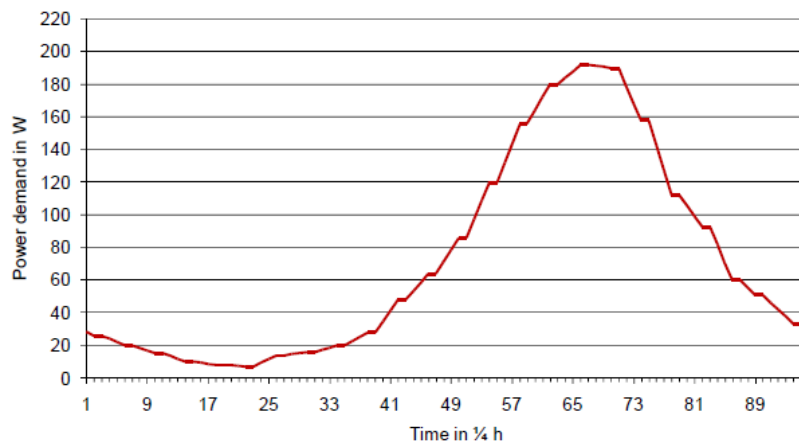


Figura 25 - Perfil de consumo diário de um aparelho de ar condicionado

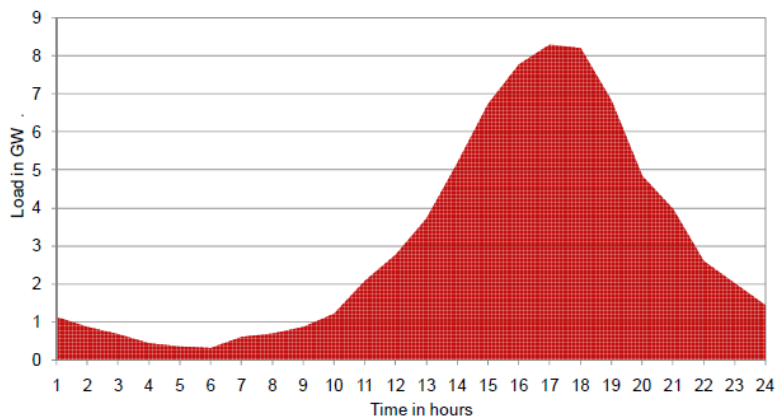


Figura 26 - Consumo dos aparelhos de ar condicionado na Califórnia, Verão de 1999

O ar condicionado é uma carga parametrizável, dado que a alteração em um ou dois graus na temperatura ambiente não acarreta grande impacto no conforto e é também uma carga interrompível, desde que o tempo de paragem não acarrete alterações muito significativas na temperatura ambiente. Tanto a interrupção como a parametrização podem ser geridas pela

Energy Box, que terá programadas as preferências individuais que variam de consumidor para consumidor.

#### IV.6 – Termoacumuladores

Os termoacumuladores são reservatórios com isolamento térmico, em que a água é aquecida pela resistência colocada na base reservatório e ao aquecer movimenta-se no sentido ascendente num movimento circulatório que tende a uniformizar a temperatura da água. Depois de aquecer a água, cuja temperatura é regulada por um termóstato, a resistência passa a ser solicitada apenas para manter a temperatura. Assim, o consumo de energia eléctrica ocorre principalmente após o consumo de água quente e consequente entrada de água fria. O consumo de electricidade está associado ao consumo de água quente e à capacidade do reservatório. A figura seguinte ilustra o consumo típico de um termoacumulador, programado para aquecer a água durante a noite e para manter a sua temperatura durante o dia; quando se consome água quente ocorre novo período de consumo mais intenso de energia até que a temperatura da água estabilize em torno do valor programado no termóstato.

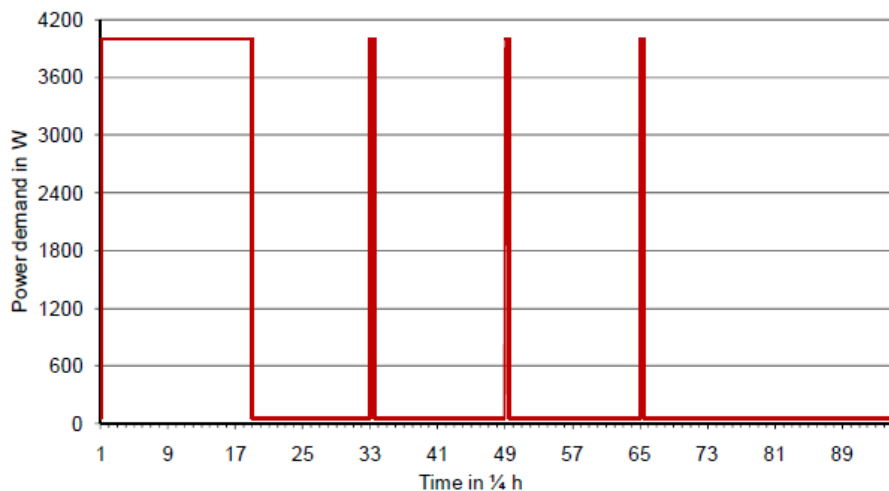


Figura 27 - Perfil de consumo de um termoacumulador de 300 litros

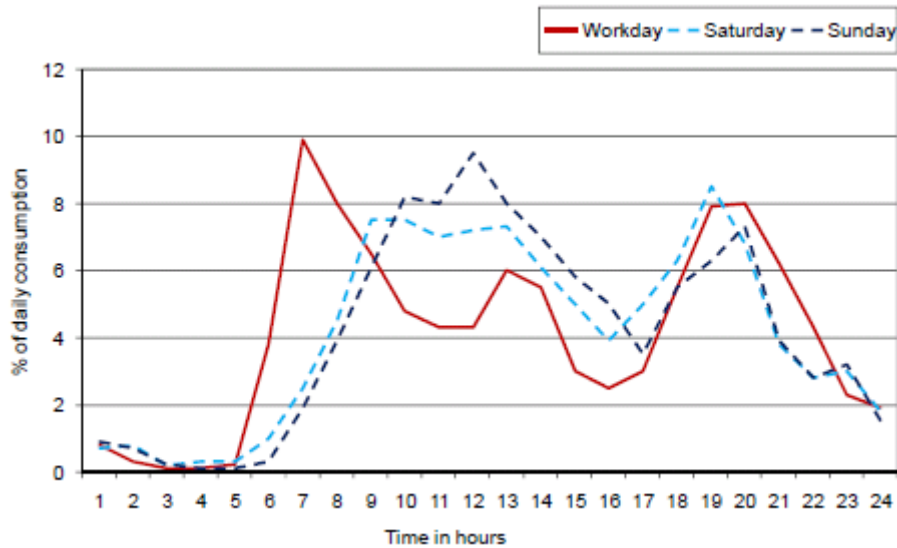


Figura 28 - Perfil de consumo diário de água quente

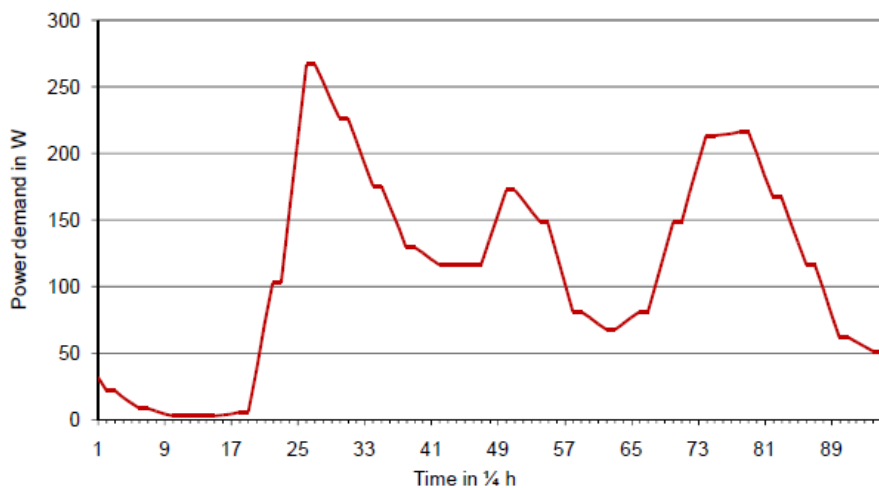


Figura 29 - Perfil de consumo diário de um termoacumulador

Os termoacumuladores são cargas parametrizáveis e também são cargas interrompíveis, desde que a sua interrupção não interfira com a necessidade de uso de água quente. Neste caso, a *Energy Box* pode “conhecer” os hábitos diários do consumidor e, “sabendo” quais são os períodos típicos de consumo de água quente, pode gerir as interrupções de modo a garantir que durante esses períodos a água está com a temperatura desejada.

#### IV.7 – Acumuladores de calor

Os acumuladores de calor são equipamentos eléctricos que acumulam calor durante os períodos de vazio, reservando-o para uso posterior. Um invólucro cerâmico com elevada



resistência térmica preserva o calor. Os elementos de aquecimento estão dentro deste invólucro, cujo interior atinge temperaturas na ordem dos 600-700°C.

Um controlador da temperatura ambiente comanda a libertação de calor para o espaço circundante. O consumo de electricidade depende da dimensão do aparelho e pode ter consumos na ordem dos 7 kW.

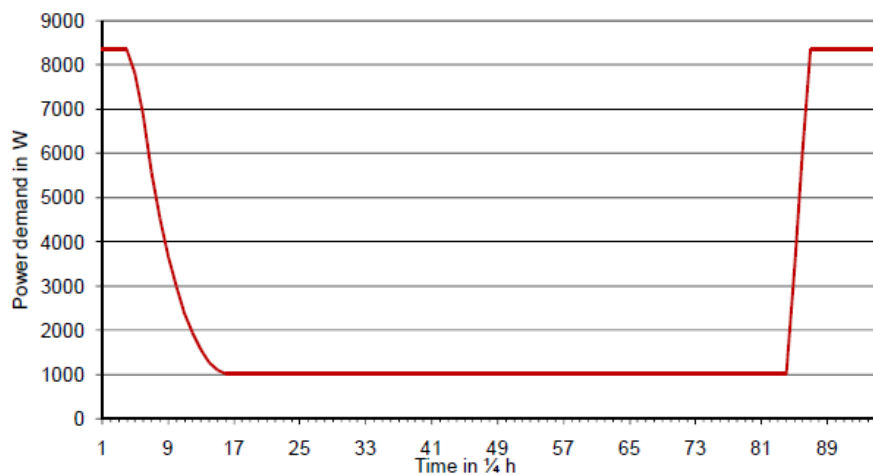


Figura 30 - Perfil de consumo diário de um acumulador de calor

Os acumuladores de calor são exemplo de uma carga que é utilizada tipicamente durante os períodos de vazio.

## **CAPÍTULO V – O CONSUMO DE ENERGIA NO SECTOR DOMÉSTICO, EM PORTUGAL**

Em Portugal, a contagem de energia é realizada através de contadores totalizadores, ou seja, sem desagregação dos consumos parciais. A leitura dos contadores é periódica e não ilustra a modelação diária do consumo de cada habitação. Assim, não existem dados que permitam o estabelecimento de curvas representativas do padrão médio dos consumos domésticos, que deveriam constituir o ponto de partida para simular os impactos das diferentes metodologias de gestão das cargas domésticas. Neste enquadramento, os novos dispositivos de contagem inteligente constituirão uma maior valia, no sentido em que possibilitam colheita de valores distribuídos no tempo (curva real do consumo) e, quando complementados por dispositivos periféricos adequados (*Smart Appliances* ou tomadas inteligentes), viabilizam também a disponibilização das curvas desagregadas por equipamento ou por grupos de equipamentos.

### **V.1 – Repartição das cargas domésticas**

Em Portugal, cerca de 30% da electricidade é consumida no sector doméstico<sup>32</sup>. Os sectores da indústria e do comércio e serviços públicos consomem cerca de 67%, restando apenas 3% do consumo de electricidade para os sectores dos transportes, agricultura, floresta e pescas.

Para caracterização da repartição dos consumos no sector residencial e dos respectivos padrões de distribuição diária, foram analisados três estudos:

#### **REMODECE**

Programa europeu que visa o conhecimento dos consumos energéticos das residências na Europa, para diferentes tipos de equipamentos, incluindo os comportamentos dos consumidores e os seus níveis de conforto, bem como a identificação das tendências de consumo no futuro. A caracterização dos consumos envolveu 12 países europeus tendo sido realizadas 100 auditorias e 500 questionários em cada país. Os dados apresentados referem ao um consumidor médio europeu.

---

<sup>32</sup> De acordo com os dados da Pordata o consumo de electricidade no sector residencial foi de 27% em 2008, 30% em 2009 e 27% em 2010 (dados provisórios). A IEA refere 28% em 2008 e 30% em 2009 (dados de 2010 não disponíveis).

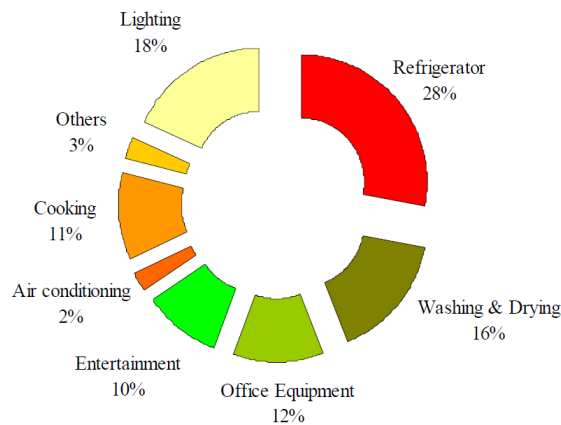


Figura 31 - repartição dos consumos no sector residencial<sup>33</sup> [92]

### P3e

Iniciativa pública promovida pela DGEG, financiada pelo PRIME e executada por: Agência para a Energia, INETI, LNEC e IPQ. Esta iniciativa culminou na edição do documento “Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial” [93], em Abril de 2004, que inclui a estrutura do diagrama de carga horário desagregado para o sector residencial, em Portugal. A caracterização dos consumos baseou-se na monitorização de cerca de 150 unidades de alojamento, em Portugal (reporta ao ano 2002).

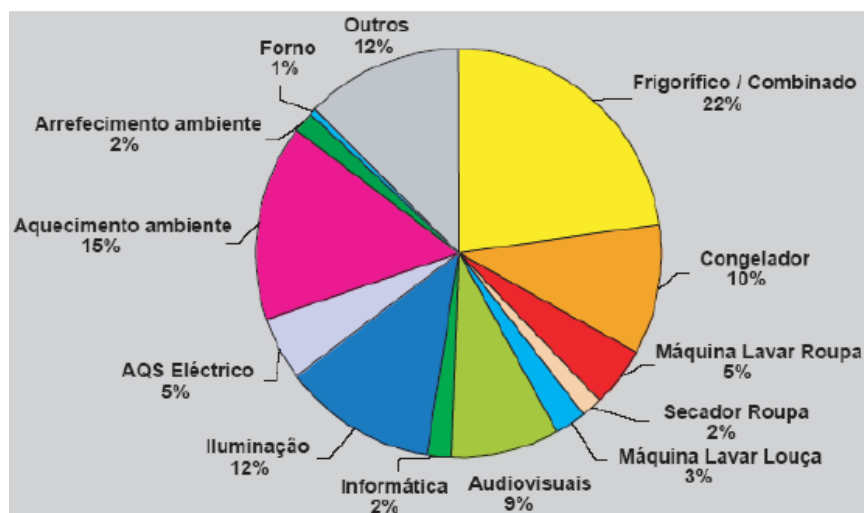


Figura 32 - repartição dos consumos no sector residencial [93]

<sup>33</sup> A recolha de dados realizou-se em 2007 e 2008

## Inquérito ao consumo de energia no sector doméstico

Realizado pelo INE, trata-se do estudo mais recente (dados recolhidos entre Outubro de 2009 e Setembro de 2010) relativamente à repartição dos consumos domésticos, por tipo de equipamento, em Portugal. No entanto é pouco desagregado e não inclui a modelação do diagrama de cargas respectivo.

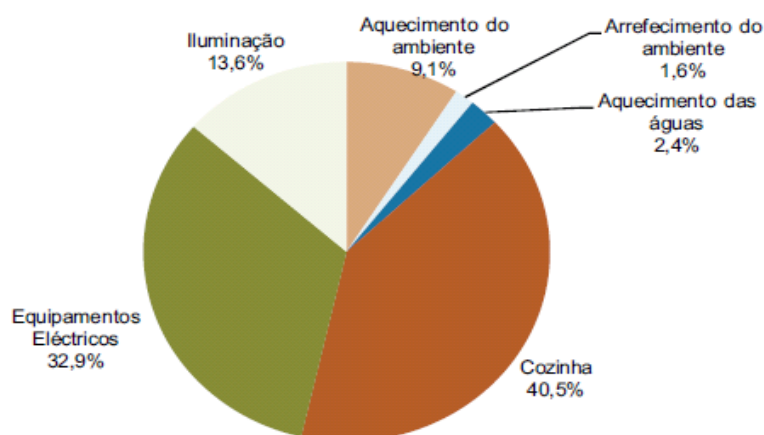


Figura 33 - repartição dos consumos no sector residencial [94]

De acordo com estes estudos, as cargas agendáveis totalizam 16% do consumo doméstico, para um consumidor médio europeu (REMODECE) e 10% no caso de Portugal (P3e). O Inquérito ao consumo de energia no sector doméstico [94] é o estudo mais recente, mas apresenta valores agregados<sup>34</sup>.

	REMODECE	P3e	INE
Máquina de lavar roupa		5	40,5
Máquina de secar roupa	16	2	
Máquina de lavar loiça		3	
Frio alimentar	28	32	
Forno e fogão	11	1	
<b>Cozinha</b>	<b>55</b>	<b>43</b>	

Tabela 2 - Repartição do consumo das cargas agendáveis

<sup>34</sup> A cozinha inclui fogão, forno, microondas, exaustor/extractor, frigorífico, combinado, arca congeladora, máquina de lavar loiça, máquina de lavar roupa e máquina de secar roupa.

O INE [94] actualizou as taxas de posse destes equipamentos<sup>35</sup>, mas sua evolução em termos de eficiência energética, entre 1997<sup>36</sup> e 2010, não permite que se faça uma associação directa entre as novas taxas de posse e o consumo das cargas agendáveis. Assim, assume-se que estas cargas consomem 10% da electricidade destinada ao sector doméstico, em Portugal.

## V.2 – Diagrama das cargas domésticas

Os dados disponíveis para traçar o diagrama das principais cargas domésticas resultam de programas pontuais, geográfica e cronologicamente, tendo por base amostras de reduzida dimensão. Apesar do rigor com que decerto foram tidas em conta as taxas de posse, população, comportamentos, etc., o diagrama padrão que daí resulta acarreta uma margem de erro que poderá ser não negligenciável.

Para obter o diagrama médio das cargas domésticas nacionais, com desagregação suficiente para simular os efeitos do deslocamento das cargas agendáveis, assumiu-se como ponto de partida o resultado de dois estudos: o projecto REMODECE [92] e a iniciativa P3e [93].

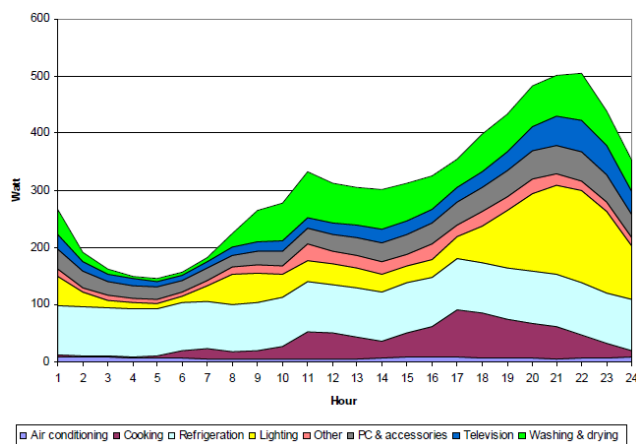


Figura 34 - Estrutura do diagrama de carga horário para o sector residencial, para um consumidor típico europeu [92]

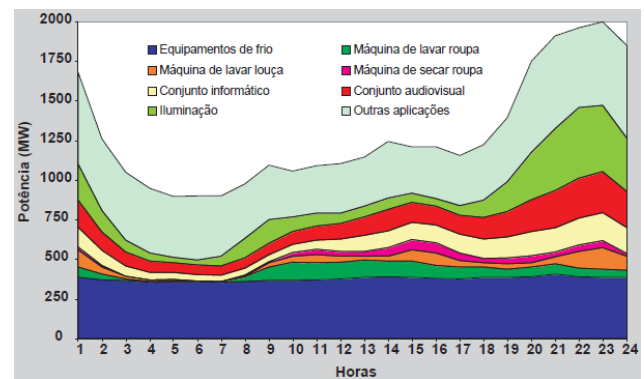


Figura 35 - Estrutura do diagrama de carga horário para o sector residencial, em Portugal [93]

Estes dois diagramas foram redesenhados<sup>37</sup> para que assentem na mesma escala de potência (Watt/consumidor). Obtiveram-se os seguintes gráficos:

<sup>35</sup> Cargas agendáveis: máquina de lavar roupa, máquina de lavar loiça, máquina de secar roupa.

<sup>36</sup> As taxas de posse utilizadas no relatório apresentado pela iniciativa P3e referem aos Indicadores de Conforto publicados pelo INE em 1997.

<sup>37</sup> Na falta das tabelas de origem destes diagramas, foram criadas tabelas com os valores horários, em cada curva.

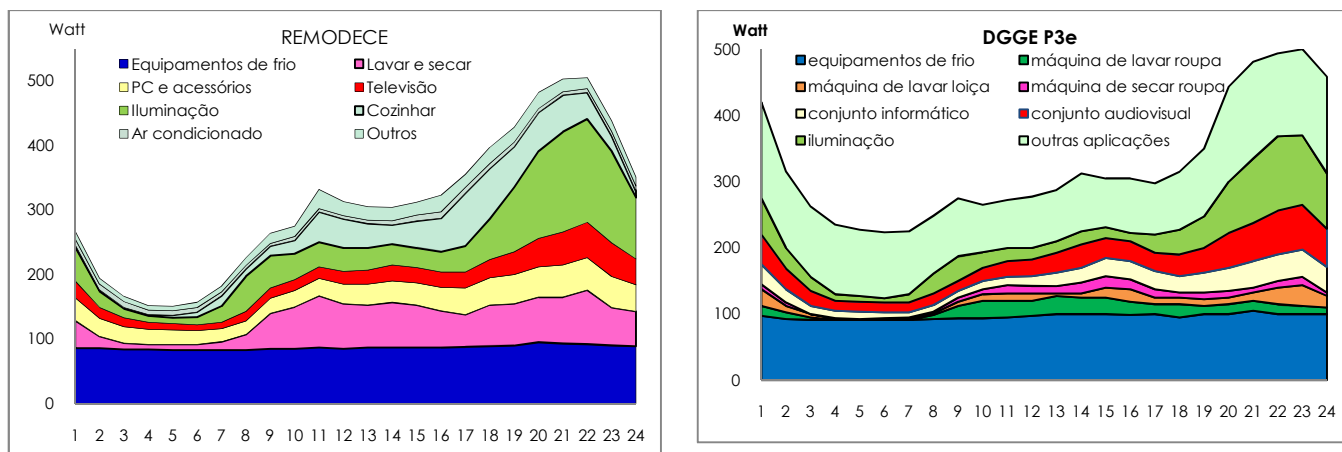


Figura 36 – Diagrama desagregado das cargas domésticas: Programa REMODECE e Iniciativa P3e

Comparando a distribuição das cargas nestes diagramas, verifica-se que:

- i) O formato dos dois diagramas não difere significativamente, apesar de ambos se basearem em pequenas amostras;
- ii) Em Portugal, o pico de consumo ocorre cerca das 23:00h, ligeiramente atrasado relativamente à média dos países europeus;
- iii) Em Portugal, o vazio do diagrama de cargas (cerca de 280 Watt) é superior ao que se verifica no diagrama do consumidor médio europeu (cerca de 160 Watt);
- iv) O pico de consumo em iluminação é inferior, em Portugal;
- v) O diagrama apresentado pela iniciativa P3e não discrimina os consumos em ar condicionado;

Na sua maioria, estas constatações são justificáveis pelo clima ameno e pela média diária de horas de sol, em Portugal. No entanto deve ter-se presente que se trata de diagramas que acarretam uma certa margem de erro.

Na conversão de MW para Watt/consumidor considerou-se:

De acordo com o resultado dos censos 2011 [96], em Portugal continental existem 3.869.537 famílias clássicas residentes e 5.626.804 alojamentos familiares. Destes, 3.824.696 são residência habitual, 1.098.336 são residência secundária e 703.772 estão vagos. Por outro lado, estão em vigor 4.964.054<sup>38</sup> contratos de fornecimento de electricidade a clientes domésticos. Contudo, de acordo com o INE [94], em 2010 existiam em Portugal 3.926.201

<sup>38</sup>Valor em 30 Setembro 2011. Fonte: EDP Distribuição.

alojamentos com ligação à rede pública de electricidade. Esta diferença entre o número de alojamentos com ligação à rede eléctrica e o número dos contratos com clientes domésticos, pode ter origens diversas como sejam os alojamentos secundários ou vagos que têm contrato em vigor ou alguma diferença nos conceitos que definem a alocação destes consumidores. Para ultrapassar estas diferenças assumiu-se, neste trabalho, 4.000.000 de consumidores como valor de referência.

### V.3 – Taxas de posse

A iniciativa P3e baseou-se nas taxas de posse publicadas pelo INE em 1997. Em 2011, o INE publicou novo estudo que reporta ao *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico, 2010* [94]. A tabela seguinte resume as taxas de posse para os grupos de equipamentos discriminados no diagrama das cargas domésticas nacionais, bem como o factor de correcção introduzido para lhe conferir maior actualidade, dada a evolução nas taxas de posse no período 1997-2010.

	1997	2010	multiplicar por
Equipamentos de frio	100		
Máquina de lavar roupa	90	90,7	1,007717751
Máquina de lavar loiça	30	40,8	1,264705882
Máquina de secar roupa	12	19,1	1,371727749
Conjunto informático	30	59,4	1,494949495
Conjunto audiovisual	100		
Iluminação	100		

Tabela 3 - *Taxas de posse dos equipamentos domésticos e respectivo factor de correcção* [93], [94]

### V.4 – Perfis de consumo

Os perfis de consumo são aplicados aos clientes finais que não dispõem de equipamento de contagem com registo de consumos em intervalos de 15 minutos, permitindo que estes clientes acedam ao mercado liberalizado sem necessidade de instalar um novo contador [95]. Para cada perfil é definido um diagrama de carga de referência, aprovado e publicado anualmente pela ERSE. Para esse efeito, é definido o peso relativo do consumo em cada período de 15 minutos do ano e o cálculo dos consumos discriminados por períodos horários

de 15 minutos é efectuado através da aplicação do Perfil Final à energia eléctrica correspondente a um dado intervalo de tempo, considerando os consumos agregados por períodos tarifários.

Aos clientes em baixa tensão nominal (BTN) são aplicáveis os seguintes perfis de consumo:

**Perfil BTN Classe A:** para clientes com potência contratada superior a 13,8 kVA.

**Perfil BTN Classe B:** para clientes com potência contratada inferior ou igual a 13,8 kVA e consumo anual superior a 7140 kWh.

**Perfil BTN Classe C:** para clientes com potência contratada inferior ou igual a 13,8 kVA e consumo anual inferior ou igual a 7140 kWh.

Em Portugal, cerca de 90% dos contratos BTN com perfil de consumo classe C, referem a clientes domésticos<sup>39</sup>, pelo que esta curva constitui uma boa aproximação para traçar a configuração do diagrama de cargas desse grupo de consumidores.

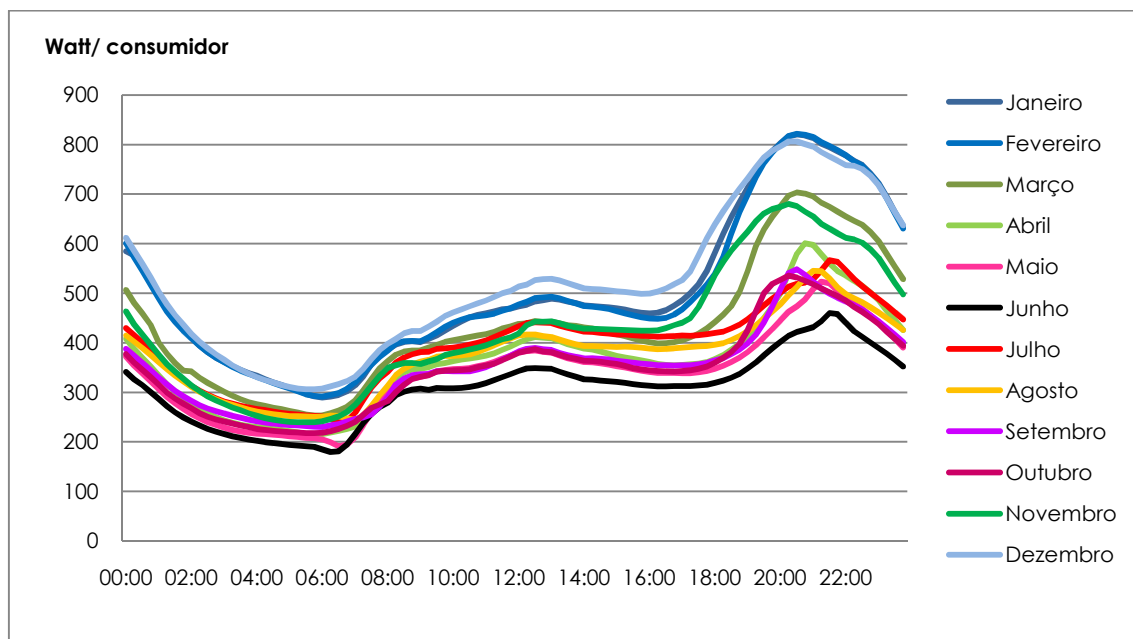


Figura 37 - *Variação sazonal dos consumos atribuídos ao perfil BTN C, em 2010*<sup>40</sup>

Na simulação dos efeitos potenciais do deslocamento das cargas agendáveis, são utilizadas curvas com a média anual que não traduzem as diferenças sazonais ou outras como os fins de semana e feriados. No entanto, os dados disponíveis quanto aos consumos desagregados das

<sup>39</sup> Em 30 Setembro 2011: 5.540.124 contratos BTN, com perfil de consumo C; destes, 4.964.054 são domésticos. Fonte: EDP Distribuição.

<sup>40</sup> Consumo médio, em cada mês.



cargas domésticas referem a valores médios anuais, pelo que todos os resultados apresentados neste trabalho assentam nessa base.

A curva dos consumos domésticos foi obtida pela ponderação do perfil BTN C ao perfil horário dos consumos domésticos<sup>41</sup>. No diagrama de cargas, o impacto desta curva dá-se na parcela correspondente a “outras aplicações”.

A sobreposição dos espectros de consumo do perfil BTN C<sup>42</sup>, da curva média dos consumos domésticos<sup>43</sup> e dos estudos REMODECE e P3e, resultou no gráfico seguinte, que ilustra a proximidade da configuração dessas quatro curvas.

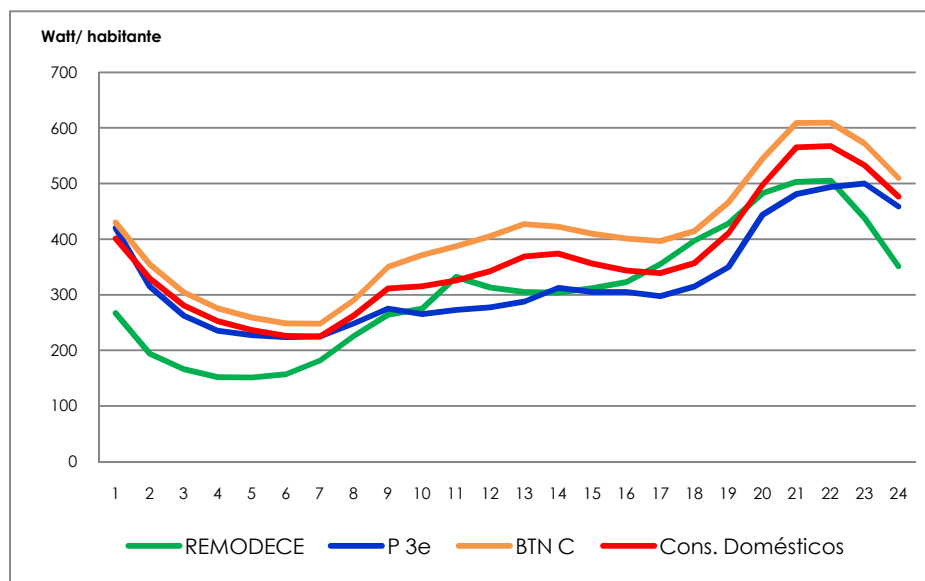


Figura 38 - Sobreposição das curvas BTN C, domésticos, REMODECE e P3e

Tendo por base o diagrama de cargas do estudo P3e, os factores de correcção da tabela 3 e a curva diária dos consumos domésticos, obteve-se o diagrama seguinte, que constitui a base para a simulação dos impactos potenciais do deslocamento das cargas agendáveis.

<sup>41</sup> Facultado pelo Professor Humberto Jorge. Os dados de origem têm intervalos de uma hora, com diferenciação para dias úteis, sábados e domingos. A curva foi traçada através do cálculo do valor médio a anual para cada intervalo de 1 hora, considerando a soma ponderada para dias úteis, Sábados e Domingos.

<sup>42</sup> Valores de 2010. Os dados de origem têm intervalos de 15 minutos. A curva foi traçada através do cálculo do valor médio anual para cada intervalo de 15 minutos.

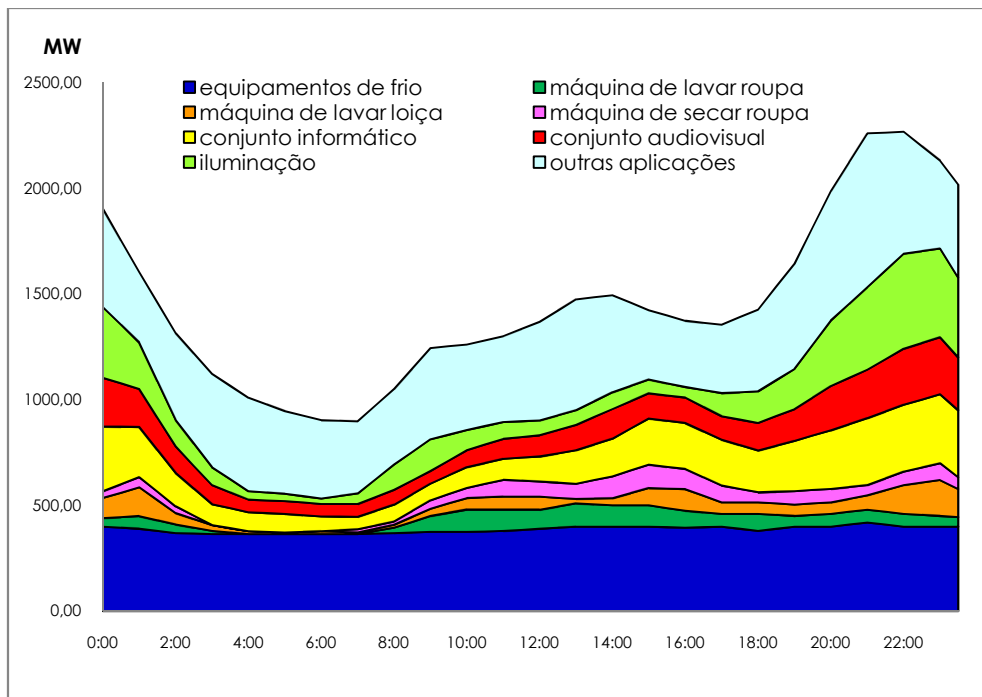


Figura 39 - Diagrama das cargas domésticas nacionais, base para simulação

Este diagrama baseia-se em valores médios e não considera factores como a sazonalidade ou diferenciação entre fins de semana e dias úteis.

## **CAPÍTULO VI – SIMULAÇÃO DO IMPACTO DO DESLOCAMENTO DAS CARGAS AGENDÁVEIS**

No capítulo IV resumiram-se as principais características de funcionamento e do uso da electricidade para os equipamentos com maior representatividade nas habitações nacionais. Consoante a tipologia desses equipamentos, agendáveis, interrompíveis ou parametrizáveis, deverá prever-se um controlo diferenciado.

Reportando ao diagrama da figura 39 tem-se a seguinte classificação de cargas:

**Cargas agendáveis:** Máquina de lavar roupa, máquina de lavar loiça, máquina de secar roupa

**Cargas parametrizáveis:** Equipamentos de frio

**Cargas interrompíveis<sup>44</sup>:** Equipamentos de frio

**Cargas não controláveis:** Conjunto informático, conjunto audiovisual, iluminação, outras aplicações

Para simular o impacto potencial do deslocamento das cargas agendáveis, considera-se uma adesão de 100% dos consumidores ao deslocamento de cargas e que a taxa de implantação da *Energy Box* é de 100%, ou seja, todos os consumidores dispõem de um sistema automático de gestão de cargas. Trata-se de uma situação hipotética que serve apenas para evidenciar o potencial de ganho.

Na simulação todas as cargas agendáveis foram deslocadas para os períodos de vazio e supervazio, com consumo uniformemente distribuído entre as 00:00h e as 07:00h<sup>45</sup>.

---

<sup>44</sup> Na bibliografia as máquinas de lavar/secar estão classificadas também como interrompíveis, mas dado que essas interrupções podem ter algumas limitações inerentes às características de cada equipamento consideram-se, neste trabalho, apenas como cargas agendáveis.

<sup>45</sup> Considerou-se o horário de Inverno e o ciclo semanal.

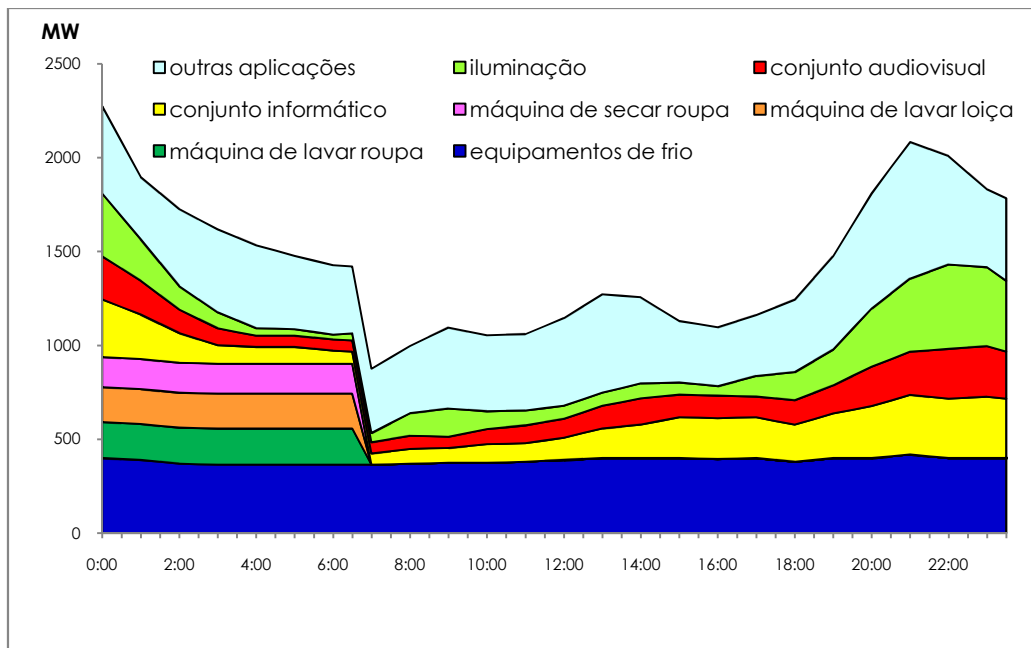


Figura 40 - Primeira simulação do impacto do deslocamento das cargas agendáveis

As medidas de DR pretendem reduzir os picos e preencher os vales do diagrama de cargas e, em teoria, a sua acção óptima será o alisamento da curva total de consumo. A questão que se coloca é qual a curva que deve ser alisada. Vejamos: Pretende-se adequar a procura à oferta, ou seja, no limite pretende-se que a curva do consumo total acompanhe a disponibilidade de energia no sistema; mas a curva do consumo total resulta da soma de diversas curvas parciais como sejam o conjunto das subestações de distribuição, os postos de transformação que alimentam conjuntos de consumidores ou a curva de cada consumidor (residencial, indústria e serviços). Por outro lado, a curva da oferta não é necessariamente lisa dado que depende de factores como a disponibilidade das fontes renováveis ou o preço da importação.

Assim, esta simulação é uma abordagem simples ao impacto potencial da *Energy Box* no diagrama de cargas. Uma abordagem detalhada deveria basear-se na modelação de cada um dos diagramas de cargas a controlar, nomeadamente para os nós de rede que se encontram mais sobrecarregados ou mais próximos do seu limite de capacidade. Nesse caso, os ganhos potenciais podem incluir o adiamento de investimentos pontuais no aumento de capacidade da rede eléctrica. Não analisando essa vertente, o potencial de ganho em energia é reduzido face ao total do sistema, porque as cargas agendáveis representam apenas 10% das cargas domésticas e as cargas interrompíveis, que consomem cerca de 35% da energia nas habitações, apenas podem ser desligadas durante curtos períodos de tempo. Tendo presente que em Portugal cerca de 30% da energia é

consumida no sector residencial, as cargas agendáveis desviam, no limite, 3% do consumo para as horas de vazio.

Tratando-se de um estudo focado nas cargas domésticas, fez-se uma análise do impacto destas medidas no diagrama de cargas médio das subestações da distribuição.

Os valores da energia solicitada às subestações da distribuição (SE) estão disponíveis em intervalos de meia hora a partir do dia 25 de Abril de 2010. Para determinar a respectiva curva média utilizaram-se valores desde 25 de Abril de 2010 até 23 de Abril de 2011<sup>46</sup>. O método aplicado foi idêntico ao utilizado para obter a curva média do perfil BTN C: para cada intervalo de tempo (no caso, meia hora) calculou-se o valor médio anual.

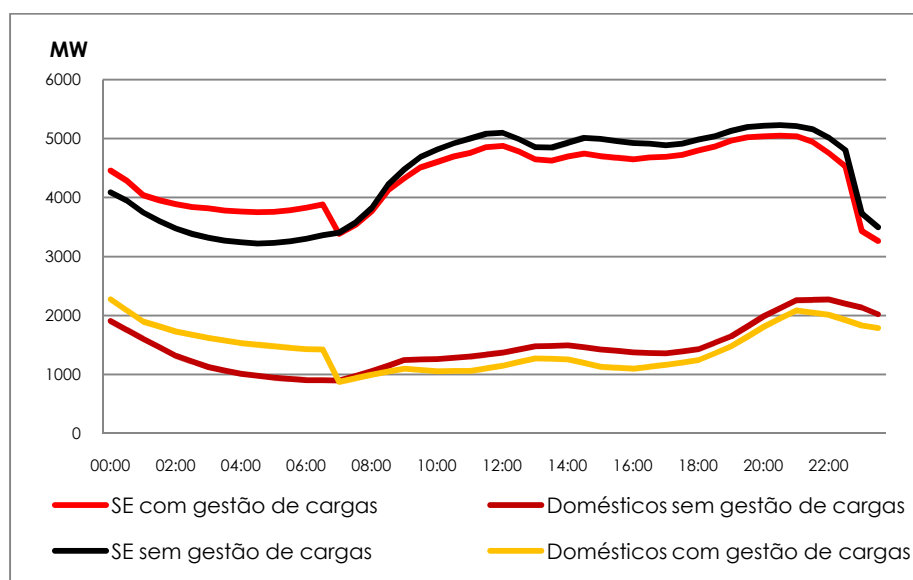


Figura 41 - Sobreposição das curvas do consumo total com e sem deslocamento de cargas (primeira simulação)

A quebra e posterior recuperação do consumo no sector residencial, entre as 06:30h e as 07:00h, não é compensada por outras cargas solicitadas às subestações, pelo que se fez nova modelação para suavizar essa transição. Verifica-se que para obter essa suavização, o deslocamento das cargas agendáveis ultrapassa o limite do período de vazio.

<sup>46</sup> Os dados do dia 24 de Abril não estão disponíveis; no total faltam 23 dias na base de dados, pelo que o valor médio diário foi calculado considerando 342 dias. Fonte: EDP Distribuição

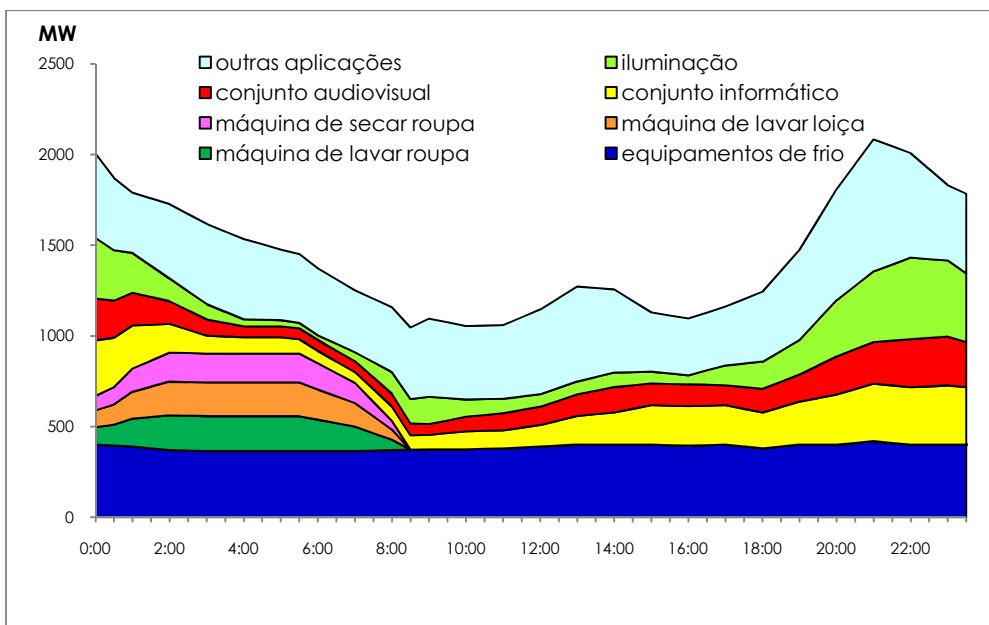


Figura 42 - Segunda simulação do impacto do deslocamento das cargas agendáveis

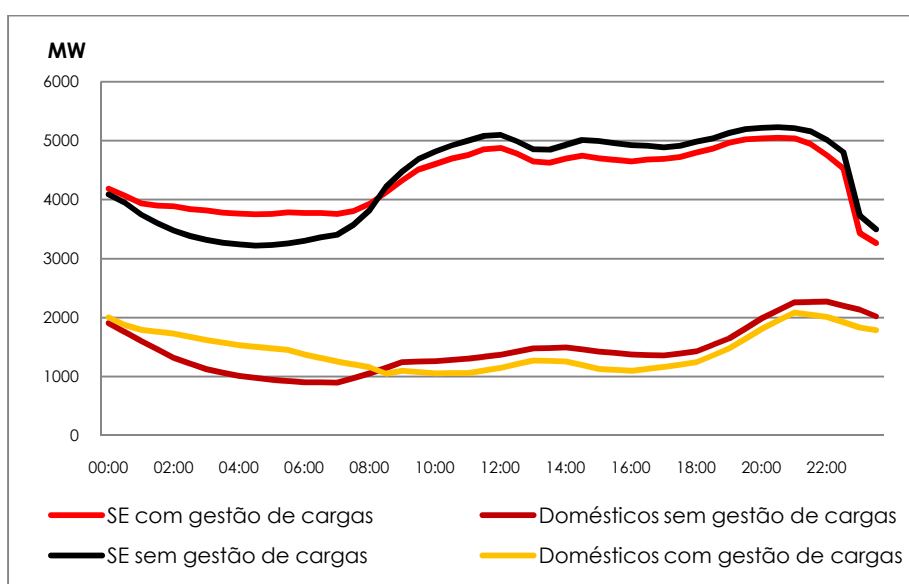


Figura 43 - Sobreposição das curvas do consumo total com e sem deslocamento de cargas (segunda simulação)

O impacto do deslocamento das cargas agendáveis pode ser pouco significativo (note-se que as infra-estruturas eléctricas estão dimensionadas para suportar o pico de consumo, além de que a hipótese do deslocamento total dessas cargas não é realista), mas as Redes Inteligentes e a *Energy Box* têm outras funcionalidades como o deslastre selectivo de

cargas, por solicitação da *utility* ou perante um incidente na rede, que pode evitar danos com impactos não negligenciáveis em termos económicos e sociais.

Para o consumidor, os benefícios financeiros que advêm do deslocamento, parametrização e interrupção de cargas, dependem do esquema de preços aplicado ao consumo de electricidade.

O deslocamento das cargas poderá trazer grandes vantagens em nós de rede que se encontrem sobrecarregados, pelo que uma análise com detalhe ao nível dos pontos críticos da rede de distribuição faria sentido. Para tal, seria necessário caracterizar os consumos associados a cada nó identificado como ponto crítico e realizar uma simulação de deslocamento de carga no sentido de evitar os congestionamentos.

## **CAPÍTULO VII – VEÍCULO ELÉCTRICO, SIMULAÇÃO DO IMPACTO DO DIAGRAMA DE CARGAS**

O sector dos transportes é responsável por cerca de 23% [5] das emissões de CO<sub>2</sub> em todo o mundo e consome 61,7% [6] dos produtos petrolíferos, pelo que o desenvolvimento de tecnologias alternativas aos produtos petrolíferos, como o veículo eléctrico, assume enorme importância. Não sendo uma solução completamente limpa porque depende dos recursos primários utilizados na produção de electricidade, quando a componente das energias renováveis na produção de electricidade fosse significativa, seria também significativa a redução das emissões inerentes ao sector dos transportes, com a utilização do veículo eléctrico. Portanto, a substituição dos veículos com motor de combustão interna por veículos eléctricos tem vantagens importantes em termos económicos e ambientais, como sejam um maior rendimento (menor desperdício energético para realizar o mesmo trabalho) e a possibilidade de recorrer a fontes renováveis endógenas que além de serem menos dolorosas para o ambiente têm o mérito de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis neste sector. A disseminação do veículo eléctrico no parque automóvel constituirá um novo consumidor de electricidade cujo impacto nos diagramas de cargas deverá ser significativo, pelo que a gestão automática das cargas domésticas passará a ter maior relevo.

Os veículos eléctricos começaram recentemente a ser introduzidos no mercado e a sua representatividade é ainda muito reduzida: Venderam-se 18 unidades em 2010 e 203 em 2011<sup>47</sup>, o que corresponde a 0,13% do total de veículos ligeiros vendidos em 2011 (153.433 unidades). A conjuntura económica adversa pode influenciar negativamente a tendência de crescimento que se verificou nestes dois anos.

### **VII.1 – Cenários de penetração do veículo eléctrico no parque automóvel**

A evolução da taxa de adesão ao veículo eléctrico depende de diversos factores, alguns com elevado grau de incerteza, como as questões de ordem financeira, a evolução tecnológica ou decisões políticas. O presente trabalho não tem por objectivo a modelação da penetração do veículo eléctrico, mas enquadra o impacto deste consumidor<sup>48</sup> emergente no diagrama de cargas doméstico. No entanto, o consumo de electricidade que lhe está associado depende intrinsecamente da respectiva taxa de adesão. Assim, adoptou-se uma abordagem simples em que se traçam três cenários: em 2020 a percentagem de vendas de veículos eléctricos face ao

---

<sup>47</sup> Todos os valores que se apresentam, relacionados com vendas e número de veículos, constam em [www.acap.pt](http://www.acap.pt)

<sup>48</sup> Consumidor, no sentido de equipamento que consome electricidade, no caso, durante o carregamento das baterias.



total de vendas de veículos ligeiros será de 10%, 25% e 50%, respectivamente. Para esse efeito, recorreu-se a uma função logística de difusão de inovação,  $P(t)$ , que representa uma curva em S onde que se distinguem três fases principais: inovação, crescimento e maturação onde atinge a fase de saturação (Anexo 3).

Onde:

$$P(t) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta \Delta t)}}$$

$P(t)$ , representa a percentagem de vendas no ano  $t$

$\alpha$ , posiciona a curva de acordo com a penetração inicial

$\beta$ , representa a taxa de crescimento anual

$\Delta t$ , representa o intervalo de tempo considerado (em anos)

#### i) Determinação do parâmetro $\alpha$

$$\alpha = \ln\left(\frac{Pt}{1-Pt}\right) \text{ para } t = 0.$$

Neste caso, assumiu-se 2011 como o ano zero:

$$P_{t=0} = \frac{203}{153433} = 0,001323 \rightarrow \alpha = -6,626489361$$

#### ii) Determinação do parâmetro $\beta$

Consideram-se três cenários de penetração do veículo eléctrico em Portugal:

Cenário 1 – Em 2020, 10% das vendas de veículos ligeiros são veículos eléctricos;

Cenário 2 – Em 2020, 25% das vendas de veículos ligeiros são veículos eléctricos;

Cenário 3 – Em 2020, 50% das vendas de veículos ligeiros são veículos eléctricos;

Ou seja, a percentagem de vendas em 2020 ( $P_{t=2020}$ ) será de 0,1 , 0,25 , e 0,5

respectivamente, para os cenários 1, 2 e 3.

O parâmetro  $\beta$  é dado pela expressão  $\beta = \frac{\ln\left(\frac{P_{t=2020}}{1-P_{t=2020}}\right) - \alpha}{\Delta t}$  e assume os seguintes valores:

	$P_t$	$\beta$
Cenário 1	0,1	0,492140531
Cenário 2	0,25	0,614208564
Cenário 3	0,5	0,736276596

Tabela 4 - Valores do parâmetro  $\beta$

O veículo eléctrico é uma inovação no sentido em que envolve uma mudança, em particular nos hábitos e comportamentos associados ao processo de carregamento, mas trata-se de um produto que, na sua génese, já está disseminado e atingiu a fase de maturidade: o automóvel ligeiro. A simulação da penetração do veículo eléctrico no parque automóvel está portanto associada à evolução do total de vendas de veículos ligeiros. Esta particularidade não foi considerada no presente trabalho, tendo-se assumido que o número de veículos ligeiros vendidos em cada ano é estacionário no tempo. Também não se considera o número de veículos abatidos anualmente.

O número de veículos vendidos no ano  $t$  é dado pela expressão

$M_t = M_{t-1}(1 + g)$ , onde  $g$  representa a taxa de crescimento anual das vendas; nesta simulação considerou-se  $g=0$  e para  $M_t$  assumiu-se o valor médio das vendas no período 2000-2011, ou seja 210.936 viaturas/ano<sup>49</sup>.

O número de veículos eléctricos, em cada ano, é então dado por:

$N_t = M_t \times P_t$  : Em cada ano vendem-se  $M_t$  veículos e, destes,  $N_t$  são veículos eléctricos.

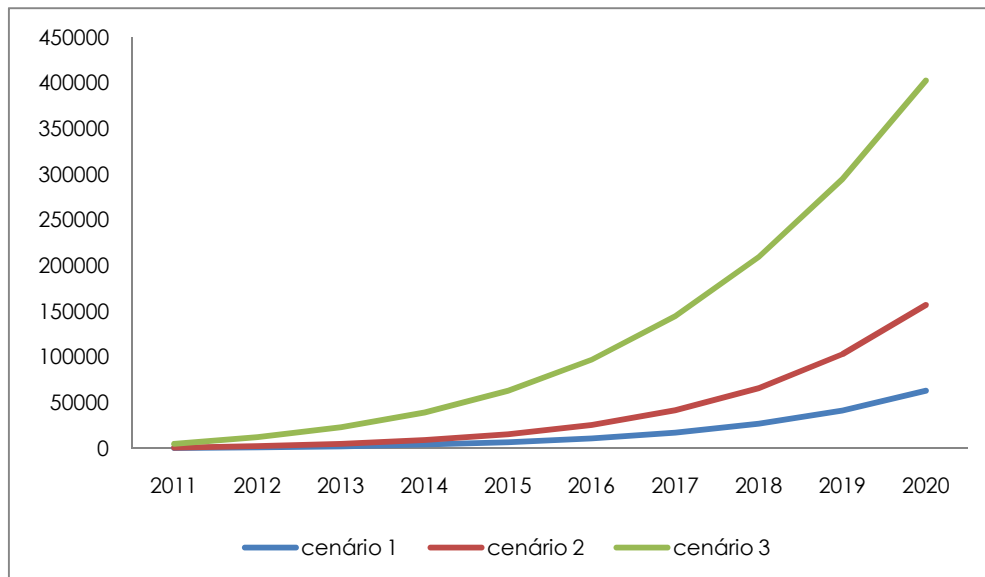


Figura 44 - cenários de penetração do veículo eléctrico no parque automóvel português

<sup>49</sup> Veículos ligeiros e todo o terreno.

## VII.2 – Simulação do débito de energia à rede eléctrica

Para simular o número de veículos eléctricos que são ligados à rede para carregamento, ao longo do dia, utilizou-se a função de distribuição normal de densidade de probabilidade:

$$y = f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Foram assumidos os seguintes pressupostos:

- i) A hora média de chegada a casa é entre as 19:00h e as 20:00h, assumindo-se  $\mu$  correspondente às 20:00h como hora média de ligação do veículo eléctrico à rede para carregamento.
- ii) Considerou-se um desvio padrão  $\sigma$  correspondente a uma hora.
- iii) Não foram tidos em conta outros factores como a propensão para carregar o veículo fora desta janela temporal, ou seja, considerou-se apenas o carregamento residencial.

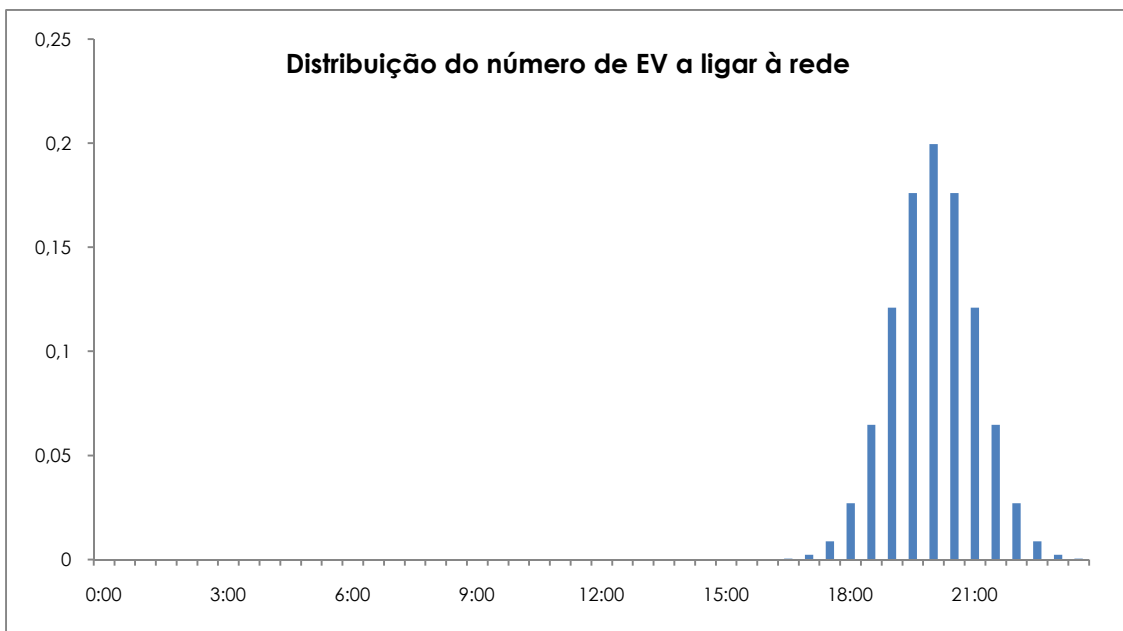


Figura 45 - distribuição da percentagem de veículos eléctricos que são ligados à rede para carregamento

Para determinar as necessidades de carregamento dos veículos eléctricos, assumiram-se os seguintes pressupostos [99]:

- i) Uma pessoa que resida numa cidade média europeia percorre em média 35 km por dia;
- ii) Um veículo eléctrico consome, em média, 200 Wh/Km;
- iii) A potência média de carregamento é de 3 kW;
- iv) A capacidade das baterias é 18 kWh.

Dado que existem diferentes necessidades de carga, considerou-se a procura média de 7 kWh, correspondendo ao trajecto médio diário de 35 Km.

Aplicando a função de distribuição normal às necessidades de carga e assumindo uma média de 7 kWh e um desvio padrão  $\sigma = 4$ , obtém-se a seguinte distribuição:

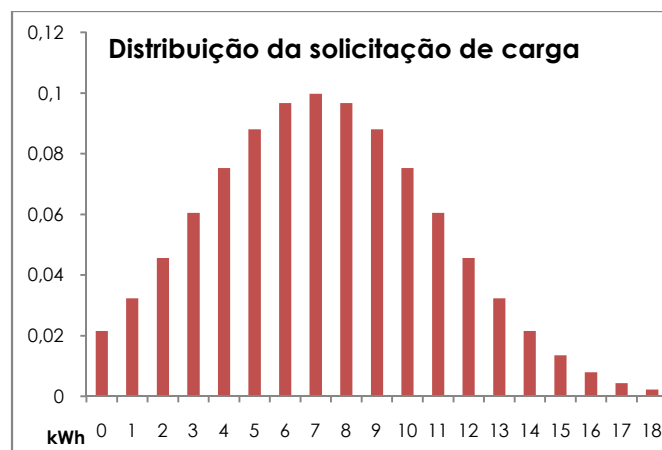


Figura 46 - *Distribuição das necessidades de carga dos veículos eléctricos*

Com base nestes pressupostos, o carregamento dos veículos eléctricos teria os impactos que se observam nas figuras seguintes.

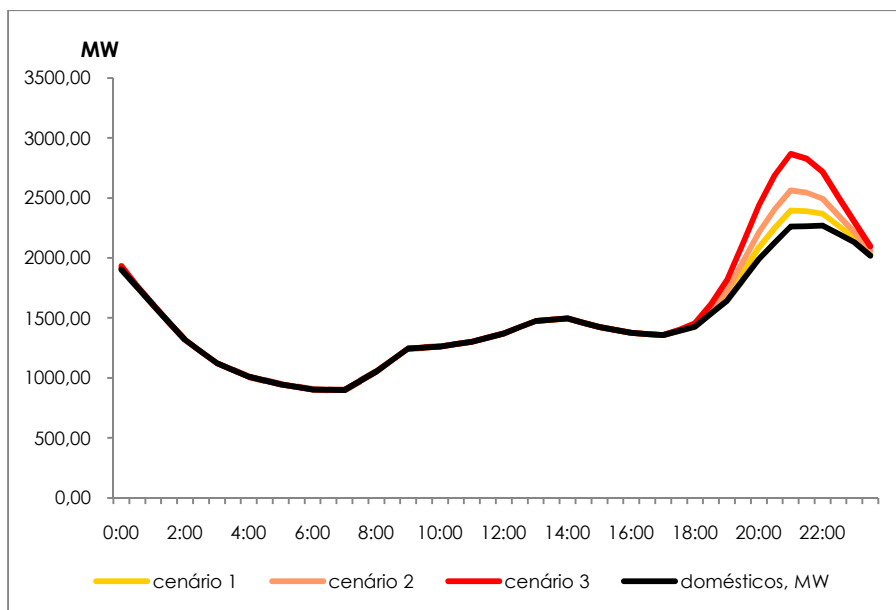


Figura 47 - *Impacto do carregamento dos veículos eléctricos, no diagrama de cargas doméstico*

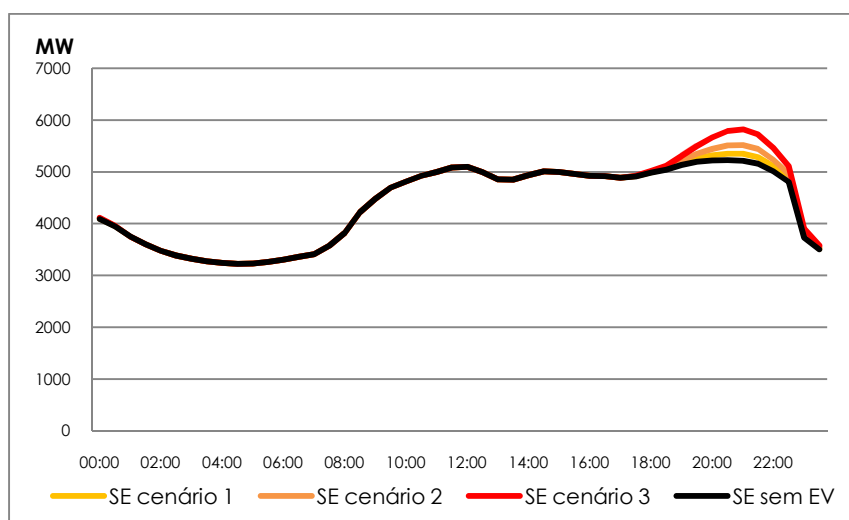


Figura 48 - *Impacto do carregamento dos veículos eléctricos, no diagrama global de cargas das subestações da rede de distribuição*

### VII.3 – Simulação do impacto da *Energy Box* na gestão do carregamento do veículo eléctrico.

O veículo eléctrico pode ser considerado como uma carga agendável, na medida em que desde que seja cumprido o objectivo estabelecido (hora em que deverá completar o ciclo de carregamento), poderá ser indiferente a hora em que se inicia o reabastecimento da bateria.

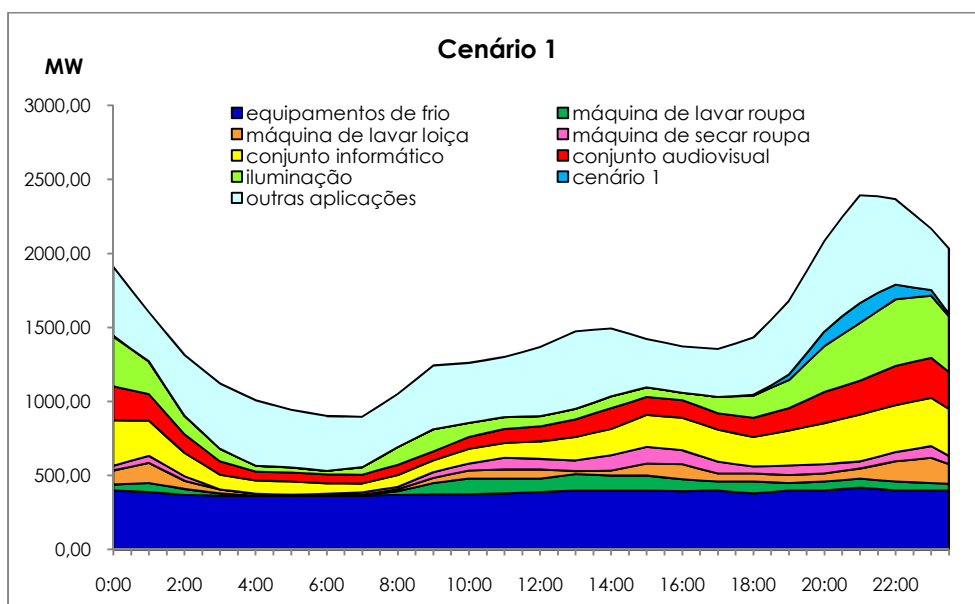


Figura 49 - Diagrama das cargas domésticas integrando o carregamento do veículo eléctrico. Cenário 1

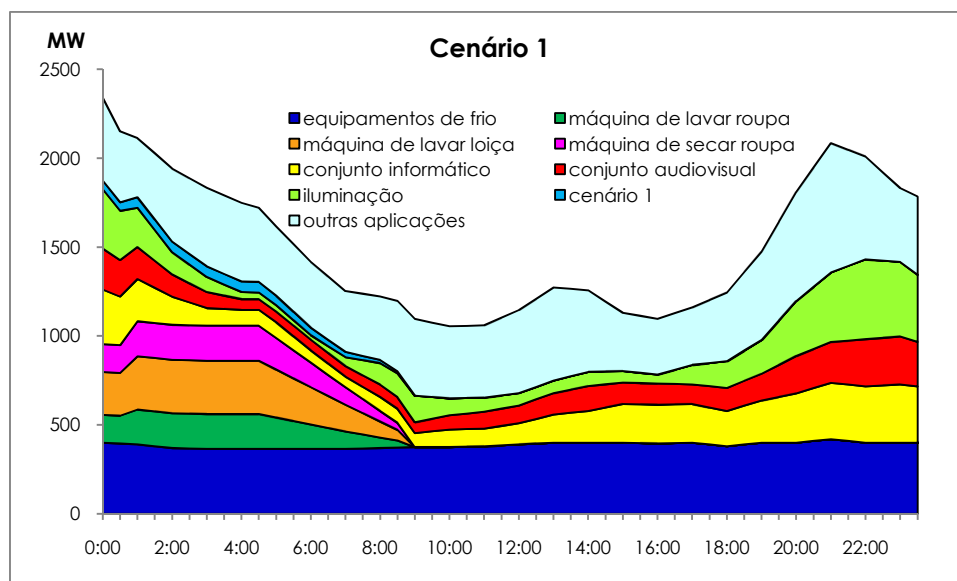


Figura 50 - Cenário 1, impacto potencial do deslocamento de cargas

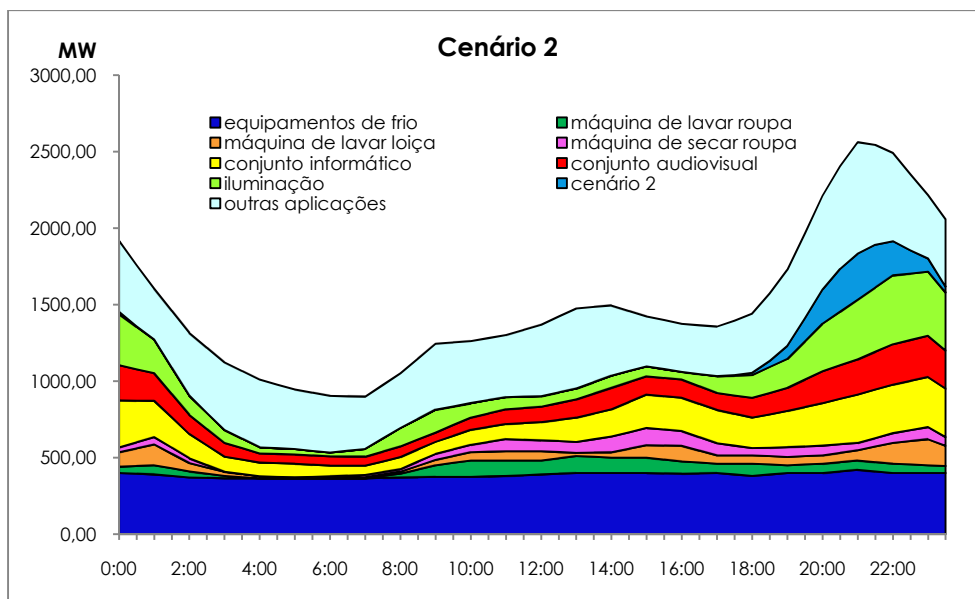


Figura 51 - Diagrama das cargas domésticas integrando o carregamento do veículo eléctrico. Cenário 2

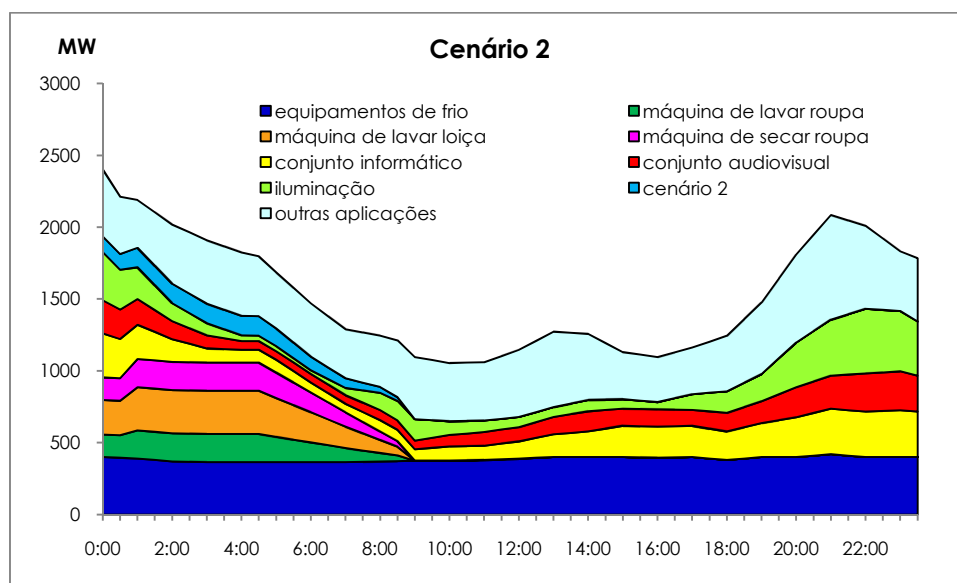


Figura 52 - Cenário 2, impacto potencial do deslocamento de cargas

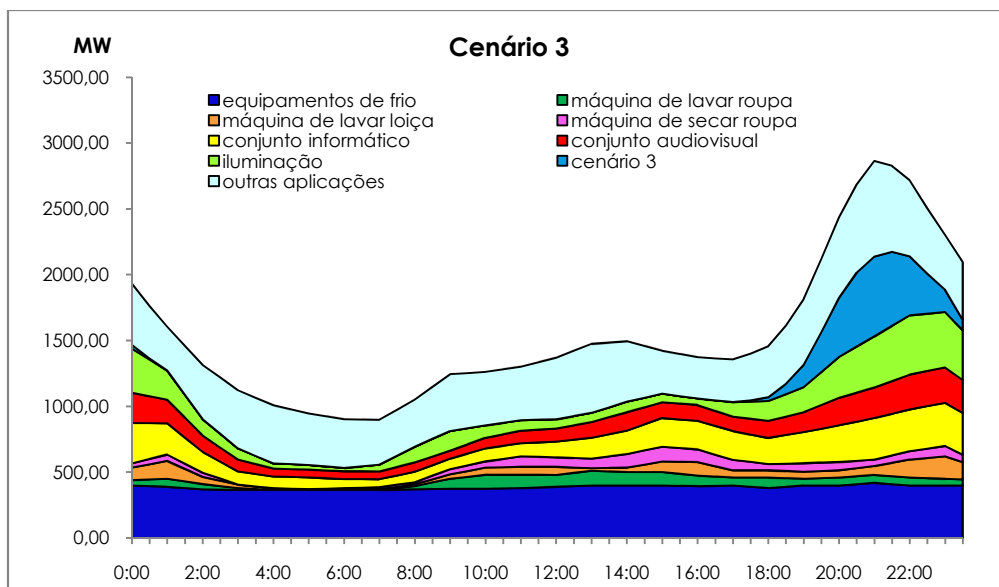


Figura 53 - Diagrama das cargas domésticas integrando o carregamento do veículo eléctrico. Cenário 3

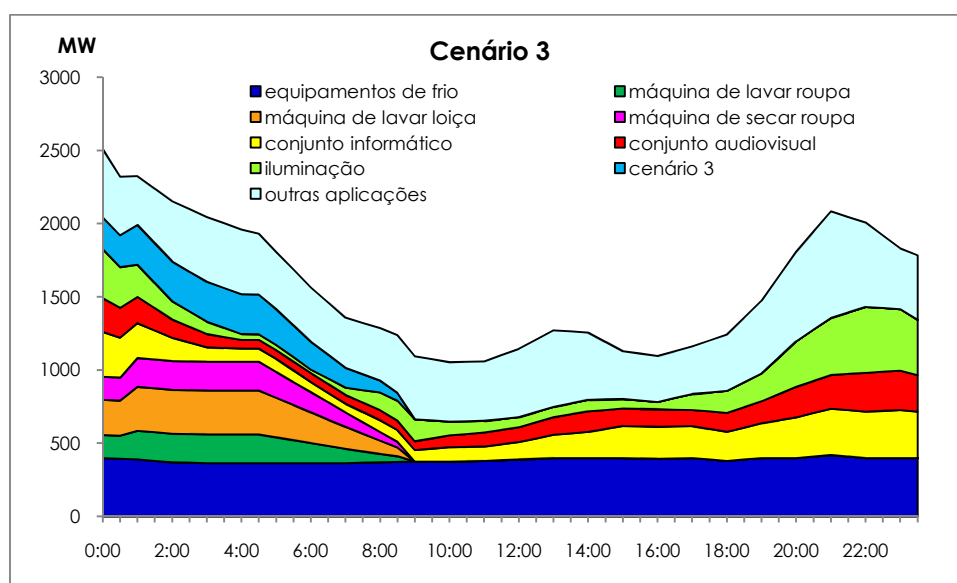


Figura 54 - Cenário 3, impacto potencial do deslocamento de cargas

Apesar de estes cenários reportarem ao ano 2020, utilizou-se a curva dos consumos domésticos em 2010. A simulação do diagrama das cargas domésticas em 2020 não se oferece realizável por não existirem dados básicos como as taxas de posse previstas ou os futuros padrões de utilização (que estão relacionados com o estilo de vida). Para alguns equipamentos eléctricos existem previsões do seu consumo individual [91], mas também nesse caso, desconhece-se qual seria a respectiva taxa de posse em 2020 (anexo 1).



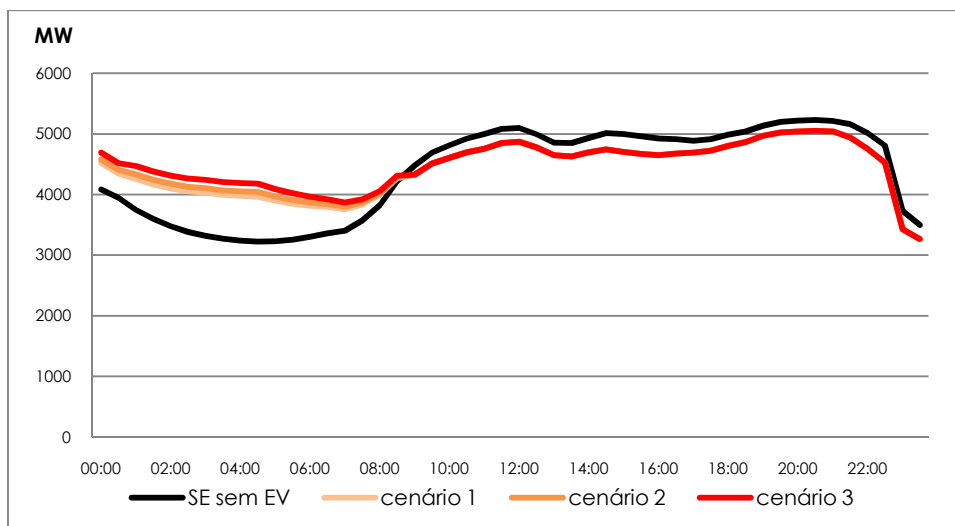


Figura 55 - *Impacto do carregamento do veículo eléctrico no diagrama de cargas das subestações (cargas modeladas)*

Quando se atingir um milhão (por exemplo) de veículos eléctricos no nosso parque automóvel (2029, 2026 e 2025, para os cenários 1, 2 e 3, respectivamente), o impacto da sua solicitação energética ao sistema eléctrico é bastante visível. Se não forem tomadas medidas preventivas no sentido de induzir a modelação das cargas, será decerto necessário proceder ao reforço de algumas infra-estruturas eléctricas.

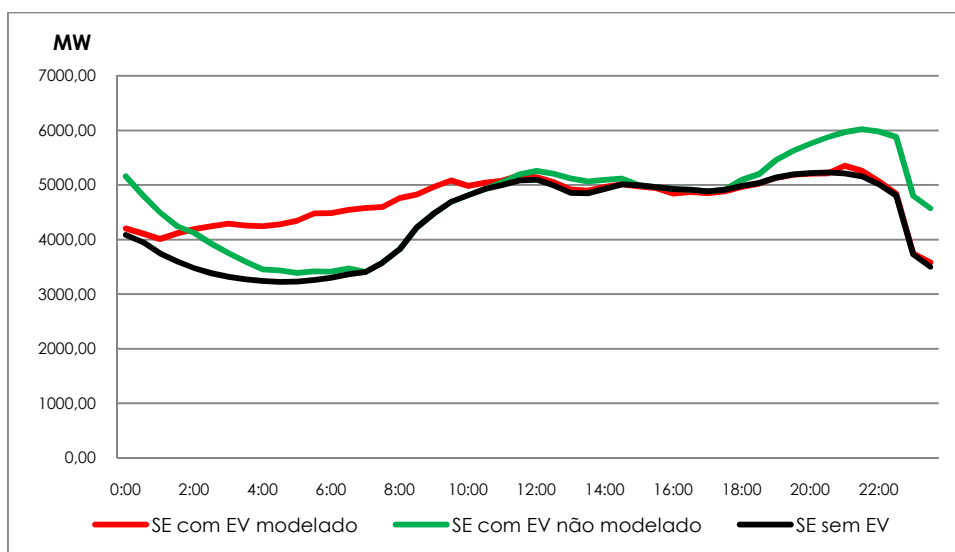


Figura 56 - *Impacto de um milhão de veículos eléctricos diagrama de cargas das subestações (com modelação e sem modelação)*

A curva “SE com EV não modelado” foi realizada com base no que se consideram ser os horários mais propensos para carregamento de veículos eléctricos.

Se de algum modo se pode questionar a importância de um sistema automático de gestão de cargas das cargas domésticas, com os actuais 3% de cargas agendáveis, verifica-se que num futuro próximo estes sistemas poderão passar a ser essenciais.

## CONCLUSÃO

Os sistemas eléctricos de energia foram concebidos com base numa filosofia de oferta que satisfaz a procura, em que o consumidor paga um preço constante e pré definido pelo uso da electricidade. Com pouca capacidade de armazenamento, a capacidade do sistema deve ser sempre superior ao pico da procura para garantir a ininterruptibilidade e a fiabilidade do serviço. No entanto, a tendência crescente para integrar no sistema fontes renováveis, motivada principalmente pelas preocupações ambientais e pela dependência energética, levanta questões acerca da flexibilidade e adequação da procura, a fim de otimizar o uso dos recursos e os investimentos a realizar.

As redes inteligentes, nomeadamente com as informações facultadas pelos *Smart Meters*, oferecem novas oportunidades para redesenhar e otimizar os sistemas eléctricos, aumentando a sua eficiência global.

A flexibilidade da procura, que em boa verdade se pratica para a maioria dos produtos transaccionáveis, apenas será efectiva se forem criados incentivos adequados, ou seja, para promover uma procura flexível é necessário adequar o preço da electricidade à disponibilidade da oferta. Para que os consumidores respondam aos incentivos financeiros, tem que lhes ser facultada informação em tempo real do valor actual e acumulado decorrente do uso da electricidade. Para a maioria dos consumidores, a simples contabilização da energia em kWh não transmite uma noção do seu custo efectivo, pelo que esta informação deve ser complementada pelo respectivo valor a pagar. No lado da procura, a variação do preço da electricidade a par com a sua visibilidade, estimula a pró-actividade dos consumidores que, no intuito de reduzir o valor da factura, tendem a reorientar os hábitos e a adoptar medidas complementares de redução do consumo de electricidade como sejam os sistemas de armazenamento, a microgeração, o isolamento térmico e a serem mais selectivos na escolha de equipamentos eléctricos mais eficientes.

As medidas de DR consistem na criação de incentivos conducentes à gestão dos recursos energéticos numa perspectiva da procura que acompanha a oferta e, destas, destaca-se o RTP como a mais sofisticada estratégia de variação de preços. As tecnologias e os modelos<sup>50</sup> subjacentes às Redes Inteligentes estabelecem a base conceptual e tecnológica para que se tire o máximo proveito destas medidas.

---

<sup>50</sup> Modelos no sentido de uma filosofia de gestão integrada que congrega um objectivo comum por parte dos diversos *stakeholders*: Mercados, fabricantes de equipamentos, organismos de normalização e de regulamentação, entre outros.

No entanto, é pouco provável que a generalidade dos clientes domésticos esteja disponível para dedicar muito tempo e esforço na análise de dados e na modificação dos seus hábitos de consumo, de molde a reduzir a factura energética. Ainda, as necessidades variam consoante o estilo de vida, as preferências pessoais e a propensão de cada consumidor para ser mais ou menos flexível na forma com usa a electricidade.

Neste enquadramento, a *Energy Box* coloca ao dispor dos pequenos consumidores (em particular no sector residencial) a gestão integrada dos equipamentos eléctricos, tanto aqueles que consomem como os que produzem energia, respeitando as preferências individuais, numa óptica de satisfação do consumidor entendida como a minimização do custo e maximização do conforto. Assim, o potencial de poupança da *Energy Box* não se esgota no deslocamento de cargas, objecto das simulações realizadas neste estudo. A este, acrescem as funcionalidades de gestão integrada da microprodução e do armazenamento local bem como as funções de interrupção de cargas e de controlo de temperaturas.

No lado da oferta, a *Energy Box* coloca ao dispor das *utilities* uma maior flexibilidade na gestão dos recursos energéticos, na medida em que numa filosofia de procura acompanhar a oferta, os incentivos à poupança e ao consumo podem ser em cada momento ajustados ao portfolio de produção disponível, respeitando as limitações técnicas da rede e a garantia de fiabilidade do sistema de energia.

A simulação completa dos impactos da *Energy Box* não tem enquadramento no presente trabalho, dada a complexidade e multidisciplinaridade das abordagens necessárias, que são identificadas mais adiante como oportunidades de desenvolvimento em estudos futuros.

Assim, a simulação realizada incidiu no deslocamento das cargas agendáveis e no veículo eléctrico enquanto carga agendável quando está ligado à rede para carregamento das baterias, projectando três cenários de penetração caracterizados por uma repartição de vendas de 10%, 25% e 50% face ao total de vendas de automóveis ligeiros, em 2020.

Neste trabalho simula-se o alisamento dos diagramas de cargas doméstico e das subestações da rede de distribuição, através do deslocamento das cargas agendáveis, com base em valores médios nacionais, por falta de detalhe geográfico para o diagrama desagregado das cargas domésticas. A simulação dos efeitos da gestão automática das cargas domésticas, focada em zonas de rede identificadas como críticas teria vantagem, ou seja, permitiria caracterizar os locais onde seria possível encaixar mais consumo sem recurso a novos investimentos.

Da análise realizada neste documento conclui-se que, no cenário actual, o impacto do deslocamento das cargas agendáveis é limitado face ao consumo total, representando ainda

assim 3% do consumo nacional de electricidade, ou seja, cerca de 1.500 GWh anuais<sup>51</sup>. No entanto, o sistema de carregamento do veículo eléctrico constitui uma carga agendável que irá crescer acentuadamente no curto-médio prazo, e cuja repartição de consumo irá acompanhar a sua disseminação no parque automóvel. O impacto de um milhão de veículos, por exemplo, carregados através de um sistema de carga lenta, revela-se muito significativo (figuras 56 e 57).

Como referido, o potencial de ganho da *Energy Box* não se esgota no deslocamento das cargas agendáveis, pelo que se identificam as seguintes **oportunidades de desenvolvimento em estudos futuros:**

### **Estudos que permitam conhecer e caracterizar os hábitos e as preferências dos consumidores**

Para desenhar soluções que não coloquem em causa a qualidade de vida e o conforto dos consumidores, é necessário conhecer os seus hábitos e a sua flexibilidade quanto ao uso da energia.

### **Caracterização detalhada dos diagramas de carga**

Não foram encontrados diagramas detalhados e actuais dos consumos domésticos. Os diagramas disponíveis resultam de estudos pontuais baseados em amostras, cujos resultados foram aplicados ao território nacional sem detalhe geográfico e sem diferenciação, por exemplo, da contribuição do consumo de cada equipamento para as variações sazonais do diagrama de cargas. Assim, os resultados das simulações realizadas não reflectem questões como a contribuição por equipamento para a ponta anual de consumo ou uma análise de pontos críticos da rede. No que concerne aos ganhos potenciais do deslocamento das cargas domésticas agendáveis, considera-se uma repartição de 3% face ao consumo total, mas em nós de rede que alimentam agregados urbanos muito concentrados a respectiva quota de consumo pode ser superior.

### **Estudo de Mercado quanto à adesão dos consumidores**

Na simulação realizada neste trabalho considerou-se uma adesão de 100% dos consumidores ao deslocamento de cargas e que a taxa de implantação da *Energy Box* seria de 100%, ou seja, todos os consumidores dispõem de um sistema automático de gestão de cargas e estão disponíveis para deslocar as cargas agendáveis. No entanto, o impacto real deverá ser inferior ao impacto potencial pelo que a avaliação efectiva do impacto do deslocamento de cargas

---

<sup>51</sup> Em 2011, o consumo na RESP - Rede Eléctrica de Serviço Público, no continente, foi de 50 TWh.  
<http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaMensal.aspx>

deve basear-se em estudos que caracterizem a taxa de adesão à *Energy Box* e a disponibilidade dos consumidores para deslocarem as cargas agendáveis, o que depende intrinsecamente da atractividade dos incentivos que lhes são oferecidos e dos meios que têm ao seu dispor.

### **Desenvolvimento da simulação do impacto da gestão das cargas domésticas, suportada pela Energy Box**

Neste trabalho simulou-se o impacto potencial do deslocamento das cargas agendáveis. Numa análise mais profunda devem ser consideradas todas as cargas típicas de uma habitação, nomeadamente as interrompíveis e as parametrizáveis.

### **Desenvolvimento da simulação do potencial total de ganho da Energy Box**

Além do controlo das cargas domésticas, a *Energy Box* tem o mérito de gerir também o fornecimento de energia à rede. A modelação dos impactos decorrentes desta funcionalidade deve assentar em cenários de implantação da microprodução e dos sistemas de armazenamento e ainda em cenários de fornecimento à rede a partir das baterias dos veículos eléctricos (conceito *Vehicle to Grid*). Também neste caso seria interessante simular, além dos impactos médios, os impactos em pontos críticos da rede.

### **Potencial de ganho da Energy Box na perspectiva das utilities**

A *Energy Box* oferece às *utilities* a possibilidade de emissão de sinais solicitando a redução ou o aumento do consumo, consoante as condições da rede e a capacidade disponível. Esta funcionalidade é crítica quando se pretende gerir um parque electroprodutor com uma quota significativa de fontes renováveis intermitentes. Por outro lado, os agregados de microprodução/armazenamento, podem constituir uma fonte alternativa de fornecimento de electricidade, a ter em conta na gestão do portfólio de produção (conceito *Virtual Power Plant*). A simulação destes impactos depende de diversos factores como o tipo de fontes disponíveis, a respectiva potência e tendência de evolução, a sua localização geográfica, etc. pelo que é necessário realizar simulações baseadas em cenários, ao nível nacional e ao nível local.

## **Bibliografia**

- 1 - Stern, N. (2006). *Stern Review: The Economics of Climate Change - Summary of Conclusions*.
- 2 - Nunes, C. (2007). *Relatório Stern – Uma Síntese*. Departamento de Prospectiva e Planeamento e Relações Internacionais da Sphera.
- 3 - International Energy Agency (IEA). *World Energy Outlook, 2011 - Executive Summary*.
- 4 - International Energy Agency (IEA). *World Energy Outlook, 2011 - Presentation to the press*. (London, 9 November 2011).
- 5 - International Energy Agency (IEA). *CO2 Emissions From Fuel Combustion - Highlights*. IEA Statistics. 2011 edition.
- 6 - International Energy Agency (IEA). *Key World Energy Statistics, 2011*.
- 7 - International Energy Agency (IEA). *Clean energy Progress Report - IEA Input to the Clean Energy Ministerial*. June, 2011.
- 8 - Ministério da Economia e da Inovação (2007). *Energia e Alterações Climática - Mais Investimento Melhor Ambiente*. Recuperado em Junho, 2012, de <https://infoeuropa.euroid.pt>
- 9 - Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG). *Balanço Energético Sintético, 2011*. Recuperado em Junho, 2012, de <http://www.dgeg.pt>
- 10 - BPI. *O sector eléctrico em Portugal continental - contributo para discussão*, Março 2011. Recuperado em Junho, 2012, de <http://rep.bancobpi.pt>
- 11 - Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável - BCSD Portugal; Universidade de Coimbra - ISR. (2005). *Manual de boas práticas de eficiência energética - Implementar o Desenvolvimento sustentável nas empresas*. Recuperado em Junho, 2012, de <http://altercexa.eu/oldweb/images/archivos>

- 12 - U.S. Energy Information Administration (EIA). *International Energy Outlook, 2010*. Recuperado em Junho, 2012, de <http://me.queensu.ca>
- 13 - Charles River Associates. *Primer on Demand-Side Management - With an emphasis on price-responsive programs*. February, 2005. Recuperado em Junho 2012 de <http://siteresources.worldbank.org>
- 14 - Gellings, C. W. & Smith, W. M. *Integrating Demand-Side Management into Utility Planning*. Proceedings of the IEEE, vol. 77, NO, 6, June 1989
- 15 - *Sustainable energy regulation and policymaking for África. MODULE 14: Demand-Side Management*. Recuperado em Junho 2012 de <http://capacity4dev.ec.europa.eu>
- 16 - U.S. Department of Energy. *Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them*. February, 2006
- 17 - Soares A. *Gestão integrada de recursos energéticos - contextualização e análise*. Tese de Mestrado. Universidade de Coimbra, 2011
- 18 - Allcott, H. *Real Time Pricing and Electricity Markets*. Harvard University. February 5, 2009
- 19 - Allcott, H. *The Smart Grid, Entry, and Imperfect Competition in Electricity Markets*. MIT and NYU, May 22, 2010
- 20 - Borenstein, S. *The Long-Run Efficiency of Real-Time Electricity Pricing*. CSEM program, University of California Energy Institute. February, 2005
- 21 - Torriti, J., Hassan, M. G., Leach, M. *Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation*. Energy 35, pp 1575–1583. Elsevier, 2010
- 22 - Khajavi, P., Monsef, H., Abniki, H. *Load Profile Reformation through Demand Response Programs Using Smart Grid*. Modern Electric Power Systems, 2010. paper 11.6

- 23 - Greening, L. A. *Demand response resources: Who is responsible for implementation in a deregulated market?* Energy 35, pp 1518–1525. Elsevier, 2010
- 24 - Cappers, P., Goldman, C., Kathan, D. *Demand response in U.S. electricity markets: Empirical evidence.* Energy 35 pp 1526–1535. Elsevier, 2010
- 25 - Bharvirkar, R., Heffner, G. Goldman, C. *Retail Demand Response in Southwest Power Pool.* Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. January, 2009
- 26 - International Energy Agency (IEA). *The Power to Choose - Demand Response in Liberalised Electricity Markets.* IEA Publications, 2003
- 27 - Smart Energy Demand Coalition (SEDC). *The Demand Response Snap Shot - The Reality for Demand Response Providers Working In Europe Today.* September, 2011
- 28 - Alves, M. J., Clímaco, J., Antunes, C. H., Humberto J., Martins, A. G. *Stability analysis of efficient solutions in multiobjective integer programming: A case study in load management.* Computers & Operations Research 35 pp 186 – 197. Elsevier, 2008.
- 29 - Eto, J. *The Past, Present, and Future of U.S. Utility Demand-Side Management Programs.* University of California. December, 1996.
- 30 - Goldman, C., Hopper, N., Bharvirkar, R., Neenan, B., Cappers, P. *Estimating Demand Response Market Potential among Large Commercial and Industrial Customers: A Scoping Study.* Lawrence Berkeley National Laboratory. January, 2007.
- 31 - Levy, R. Abbott, R. Hadden, S. *New Principles for Demand Response Planning.* EPRI, Palo Alto, CA, 2001. EP-P6035/C3047.
- 32 - Hammerstrom, D., Oliver, Melton, T. R. Ambrosio, R. *Standardization of a Hierarchical Transactive Control System.* n.d. Recuperado em Junho 2012, de <http://www.gridwiseac.org>



- 33 - Zarnikau, J., Hallett I. *Aggregate industrial energy consumer response to wholesale prices in the restructured Texas electricity market*. Energy Economics 30 pp 1798–1808. Elsevier, 2008.
- 34 - Gomes, A., Antunes, C. H., Martins, A. G. *A Multiple Objective Approach to Direct Load Control Using an Interactive Evolutionary Algorithm*. IEEE Transactions on Power Systems. 2007, Vol.22, 3, pp. 1004-1011.
- 35 - Block, C., Collins, J., Ketter, W., Weinhardt, C. *A Multi-Agent Energy Trading Competition*. N.d. Recuperado em Junho 2012 de <http://www.im.uni-karlsruhe.de>
- 36 - Joskow, P., Tirole, J. *Reliability and competitive electricity markets*. June, 2006
- 37 - Goldman, C. et al. *Does Real-Time Pricing Deliver Demand Response? A Case Study of Niagara Mohawk's Large Customer RTP Tariff*. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. August, 2004.
- 38 - Zareipour, H., Motamedi, A., Schellenberg, A. *Classification of Future Electricity Market Prices*. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 26, No. 1, February 2011.
- 39 - Holland, S. P., Mansur, E. *Is Real-Time Pricing Green?: The Environmental Impacts of Electricity Demand Variance*. May 11, 2005.
- 40 - Black, J. W., Larson, R. C. *Strategies to Overcome Network Congestion in Infrastructure Systems*. Journal of Industrial and Systems Engineering, Vol. 1, No. 2, pp 97-115, Summer 2007.
- 41 - Brown, H., Suryanarayanan, S., Heydt, G. *Some Characteristics of Emerging Distribution Systems Considering the Smart Grid Initiative*. The Electricity Journal, June 2010, Vol. 23, Issue 5.
- 42 - *The Dark Side of the Smart Grid - Smart Meters (in)Security*. N.d. Recuperado em Junho 2012 de <http://www.c4-security.com>

- 43 - The European Electricity Grid Initiative (EEGI). *Roadmap 2010-18 and Detailed Implementation Plan 2010-12*. Version V2, May 25th 2010.
- 44 - Andrésen, T. *Technical and economical aspects of remote data transmission ways for smart metering*. Master of Science Thesis. Chalmers University of Technology, 2009.
- 45 - Brown, R. E. *Impact of Smart Grid on Distribution System Design*. IEEE, 2008.
- 46 - *Measurement tools at heart of Smart Grid need calibration to ensure reliability*. Fluke Corporation, 2010.
- 47 - U.S. Department of Energy. *Study of Security Attributes of Smart Grid Systems - Current Cyber Security Issues*. April, 2009.
- 48 - Task Force Smart Grids: Expert Group 2. *Regulatory Recommendations for Data Safety, Data Handling and Data Protection*. February 16, 2011.
- 49 - Lui, T. J., Stirling, W., Marcy, H. O. *Get Smart*. IEEE power & energy magazine, may/june 2010. pp. 66-78.
- 50 - The Climate Group. *SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age*. Global e-Sustainability Initiative (GeSI), 2008.
- 51 - Electric Power Research Institute (EPRI). *Enabling Energy Efficiency - Intelligrid*. NARUC SummerMeeting, San Francisco July 30, 2006.
- 52 - Hor, C.L., Crossley, P. A. *Knowledge Extraction from Intelligent Electronic Devices*. Transactions on Rough Sets III, LNCS 3400, pp. 82-111, 2005.
- 53 - International Energy Agency (IEA). *Technology Roadmap - Smart Grids*. 2011.
- 54 - National Institute of Standards and Technology (NIST). *Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards*. Special Publication 1108, January, 2010.

55 - European SmartGrids Technology Platform. *Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future*. EUR 22040, 2006.

56 - Litos Strategic Communication (n.d.). *What the Smart Grid means to America's future*. prepared for the U.S. Department of Energy, under contract No. DE-AC26-04NT41817, Subtask 500.01.02.

57 - Tabors, R. D., Parker, G., Caramanis, M. C. *Development of the Smart Grid: Missing Elements in the Policy Process*. Proceedings of the 43rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2010.

58 - United States Government Accountability Office (GAO). *Electricity grid modernization: Progress Being Made on Cybersecurity Guidelines, but Key Challenges Remain to be Addressed*. January , 2011.

59 - Comissão Europeia. *Redes inteligentes: da inovação à implantação*. Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões. Abril, 2011.

60 - Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. *Plano Novas Energias: Estratégia Nacional para a Energia*. ENE2020, 2010.

61 - Chen, C., Kishore, S., Snyder L. V. *An innovative RTP-based residential power scheduling scheme for Smart Grids*. N.d. Recuperado em Junho, 2012, de <http://www.lehigh.edu>

62 - Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM). *Smart Grid White Paper. The Home Appliance Industry's Principles & Requirements for Achieving a Widely Accepted Smart Grid*. December, 2009.

63 - Cramton, P., Stoft, S. *Forward Reliability Markets: Less Risk, Less Market Power, More Efficiency*. Utilities Policy, 16, 194-201, 2008.

- 64 - Ehlen, M. A., Scholand, A. J., Stamber, K. L. *The Effects of Residential Real-Time Pricing Contracts on Transco Loads, Pricing, and Profitability: Simulations using the N-ABLETM Agent-Based Model*. Preprint submitted to Elsevier Science , January 2004.
- 65 - Raghavendra Nagesh D Y, Vamshi Krishna J V, Tulasiram S S. *A Real-Time Architecture for Smart Energy Management*. 978-1-4244-6266-7/10. IEEE, 2010.
- 66 - Mott MacDonald. *Appraisal of Costs & Benefits of Smart Meter Roll Out Options*. April, 2007.
- 67 - Smart Energy Management Solutions (SEMS). *Proposal for Smart Home Energy Management System*. N.d. Recuperado em Junho, 2012 de <http://sems.sdsu.edu>
- 68 - Darby, S. *Smartmetering: what potential for householder engagement?* Building Research & Information 38(5) pp 442-457. 2010
- 69 - Daintree Networks. *Going Green with AMI and ZigBee Smart Energy*. January, 2008.
- 70 - Schächtele, J., Uhlenbrockyz, J. *How to regulate a market-driven rollout of smart meters? A multi-sided market perspective*. JEL Classification Numbers: L5, L94. May, 2011.
- 71 - Van der Zanden, G-J. *The Smart Grid in Europe: The Impact of Consumer Engagement on the Value of the European Smart Grid*. IIIIEE, Lund University. September, 2011. ISSN 1401-9191
- 72 - Trilliant, White Paper. *The Home Area Network: Architectural Considerations for Rapid Innovation*. 2010. Recuperado em Junho 2012, de <http://www.smartgridnews.com>
- 73 - Depuru, S., Wang, L., Devabhaktuni, V., Gudi, N. *Smart Meters for Power Grid - Challenges, Issues, Advantages and Status*. 978-1-61284-788-7/11©2011 IEEE.
- 74 - Alexander, B. *Smart Meters, Real Time Pricing, and Demand Response programs: implications for low income electric customers*. February, 2007.

- 75 - Craemer, K., Deconinck, G. *Analysis of state-of-the-art Smart Metering communication standards*. N.d. Recuperado em Junho 2012, de <https://lirias.kuleuven.be>
- 76 - Verma, R., Argyoudis, P., O' Mahony, D. *Matching electricity supply and demand using Smart Meters and Home Automation*. Sustainable Alternative Energy (SAE), IEEE PES/IAS Conference. September, 2009.
- 77 - Kádár, P. *Smart Meter based Energy Management System*. International conference on renewable energies and power quality (ICREPQ'11), Las Palmas de Gran Canaria (Spain). April, 2011.
- 78 - Coppens, F., Vivet, D. *The single European electricity market : A long road to convergence*. National bank of Belgium, Working paper document n° 84. May, 2006.
- 79 - Lijesen, M. G. *The real-time price elasticity of electricity*. Energy Economics 29 pp 249–258 Elsevier, 2007.
- 80 - International Energy Agency (IEA). *Impact of Smart Grid technologies on peak load to 2050*. Working paper. August, 2011.
- 81 - Eurelectric. *Regulation for Smart Grids*. February, 2011.
- 82 - Eurelectric. *Smart Grids and Networks of the Future*. Ref: 2009-030-0440. May, 2009.
- 83 - Eurelectric. *Eurelectric views on Demand-Side Participation*. Dépôt légal: D/2011/12.105/35. August, 2011.
- 84 - Turner, V., Bigliani, R., Ingle, C. *Reducing greenhouse gases through intense use of information and communication technology: part 1*. IDC white paper, 2009.
- 85 - Schweppe, F. C., Tabors, R. D., Kirtley, J. L., Outhred, H. R., Pickel, F. H., Cox, A. J. *Homeostatic Utility Control*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 3 May/June 1980.

- 86 - Livengood, D., Larson, R. *The Energy Box : Locally Automated Optimal Control of Residential Electricity Usage*. Service Science 1(1), pp. 1-16, ©2009 SSG.
- 87 - Livengood, D. J. *The Energy Box: Comparing Locally Automated Control Strategies of Residential Electricity Consumption under Uncertainty*. MIT, September 2011.
- 88 - Donnelly, K., Livengood, D. *To Intelligent Energy Infrastructure: Achieving Energy Efficiency through Behavioral Economics and Energy Box Technology Implementation*. White Paper, Working Draft for Discussion Purposes Only. MIT-Portugal Program. January, 2008.
- 89 - Cordeiro, J. *Cargas do sector residencial com potencial para serem utilizadas em acções de gestão de carga*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra, Fevereiro, 2011.
- 90 - Intelligent Energy. *Smart Domestic Appliances supporting the system integration of renewable energy*. Smart-A project. November, 2009.
- 91 - Smart-A project. *Synergy potential of Smart Appliances*. A report prepared as part of the EIE project Smart-A. November, 2008.
- 92 - Intelligent Energy. *Residential Monitoring to Decrease Energy use and Carbon Emissions (REMODECE)*. IIEEA programme. Published report, November 2008.
- 93 - DGGE/IP3e. *Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial*. ISBN 972-8268-31-9. Abril, 2004.
- 94 - Instituto Nacional de Estatística (INE). *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico, 2010*. Edição de 2011.
- 95 - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). *Guia de medição, leitura e disponibilização de dados para Portugal continental*. Despacho n.º 4 591-A/2007.
- 96 - Instituto Nacional de Estatística (INE). *Censos 2011 - Resultados Provisórios*

97 - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). *Funcionalidades mínimas e plano de substituição dos contadores de energia eléctrica: Proposta a apresentar ao governo português no âmbito do plano de compatibilização regulatória (MIBEL)*. Dezembro, 2007.

98 - International Energy Agency (IEA). *Modelling load shifting using electric vehicles in a Smart Grid environment*. Working paper. 2010.

99 - Trovão, L. *Avaliação do impacto do carregamento de veículos eléctricos numa rede de distribuição*. Tese de mestrado. Universidade de Coimbra. Setembro, 2011.

100 - Gomes, L. *O Veículo Eléctrico e a sua Integração no Sistema Eléctrico*. Tese de mestrado. Instituto Superior Técnico. Outubro, 2010.

101- Couros, A. *Innovation, Change Theory and the Acceptance of New Technologies: A Literature Review*. November, 2003.

102 - Rogers, E. M., Medina, U. E., Rivera, M. A., Wiley, C. J. *Complex adaptive systems and the diffusion of innovations*. University of New Mexico. The Public Sector Innovation Journal, volume 10(3), article 30.

103 - Nutley, S., Davies, H., Walter, I. *Conceptual Synthesis 1: Learning from the Diffusion of Innovations*. ESRC UK Centre for Evidence Based Policy and Practice: Working Paper 10. November, 2002.





ANEXO 1 – EVOLUÇÃO ESPERADA, EM ALGUNS CONSUMOS TÍPICOS [91]

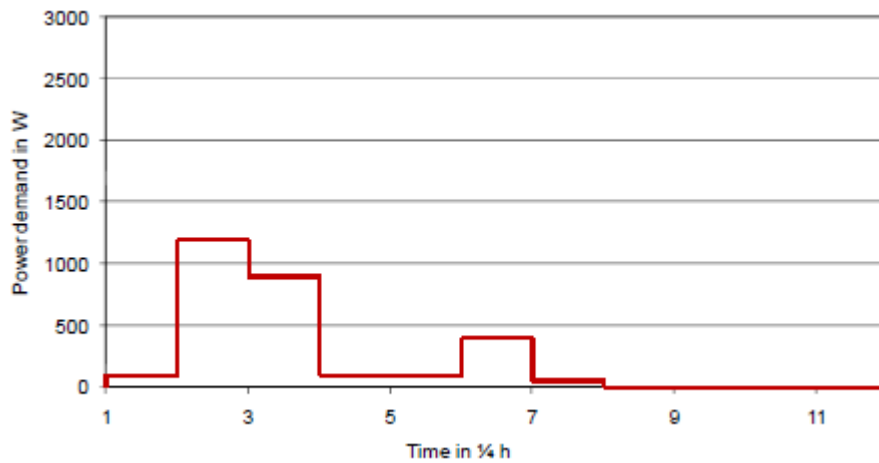


Figura 57 - Diagrama estimado para o consumo típico de uma máquina de lavar roupa, em 2025

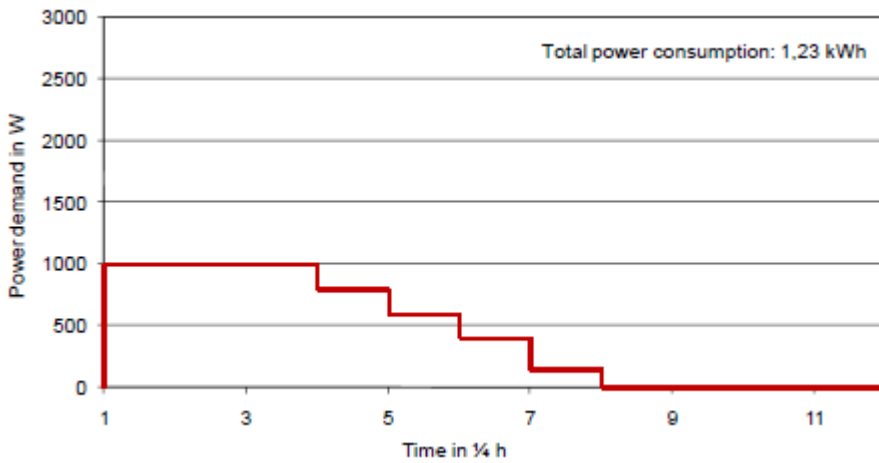


Figura 58 - Diagrama estimado para o consumo típico de uma máquina de secar roupa, em 2025

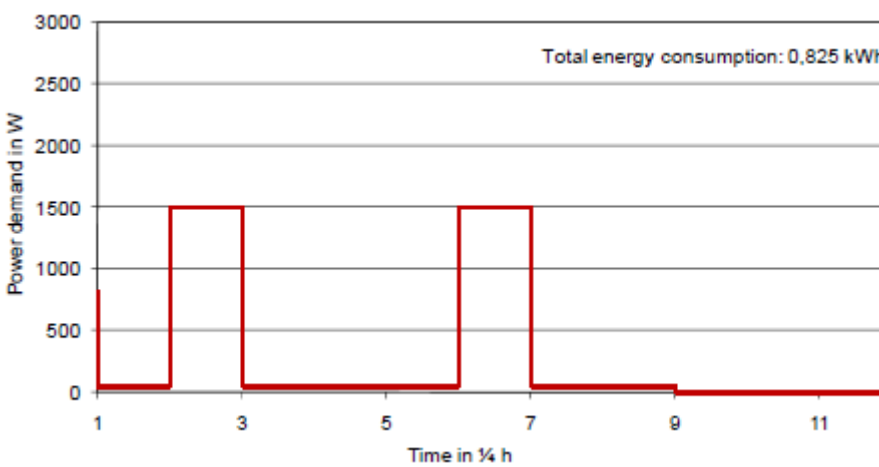


Figura 59 - Diagrama estimado para o consumo típico de uma máquina de lavar loiça, em 2025

## ANEXO 2 – CONSUMOS DOMÉSTICOS

hora	BTN C (MW)
1	1718,8498
2	1417,5593
3	1218,3369
4	1101,9567
5	1035,4338
6	992,94328
7	991,29973
8	1162,8782
9	1400,3706
10	1485,0638
11	1548,4852
12	1620,665
13	1707,0323
14	1688,6549
15	1638,591
16	1604,4822
17	1586,2541
18	1656,7163
19	1864,8221
20	2178,6378
21	2436,0361
22	2438,4816
23	2288,1374
24	2039,0684

Tabela 5 - Consumo horário associado ao perfil BTN C (MW)

hora	REMODECE	P 3e	BTN C	Consumidores domésticos
1	267	420	429,71	401,12
2	194	315	354,39	328,95
3	166	262,5	304,58	280,77
4	152	235	275,49	252,47
5	151	227,5	258,86	236,56
6	157	223,75	248,24	225,89
7	182	225	247,82	224,64
8	226	248,75	290,72	262,96
9	264	275	350,09	311,28
10	275	265	371,27	315,56
11	332	272,5	387,12	325,44
12	313	277,5	405,17	342,34
13	305	287,5	426,76	368,92
14	304	312,5	422,16	373,79
15	312	305	409,65	356,03
16	323	305	401,12	343,62
17	355	297,5	396,56	339,05
18	397	315	414,18	356,76
19	428	350	466,21	410,93
20	482	443,75	544,66	497,12
21	503	481,25	609,01	565,27
22	505	493,75	609,62	567,29
23	438	500	572,03	533,01
24	351	458,75	509,77	476,25

Tabela 6 - Consumo horário no sector doméstico (Watt/consumidor)

nº contratos BTN C	5540124
nº contratos BTN C domesticos	4964054
Percentagem de clientes domésticos, dentro do perfil BTN C	0,896018573
Consumo total dos clientes (domésticos e não domésticos)	38820,756563
Consumo total dos clientes não domésticos	4036,63767
Consumo total dos clientes domésticos	34784,11889

Tabela 7 - Potência (MW) consumida pelos consumidores domésticos, em 2010

Hora	Equipamentos de frio	Máquina de lavar roupa	Máquina de lavar loiça	Máquina de secar roupa	Conjunto informático	Conjunto audiovisual	Iluminação	Outras aplicações
0:00	400,00	40,31	95,20	31,83	306,90	230,00	335,00	465,77
0:30	395,00	50,39	115,60	39,79	272,25	205,00	277,50	399,22
1:00	390,00	60,47	136,00	47,75	237,60	180,00	220,00	332,68
1:30	380,00	50,39	95,20	39,79	198,00	152,50	172,50	371,76
2:00	370,00	40,31	54,40	31,83	158,40	125,00	125,00	410,85
2:30	367,50	27,71	40,80	15,92	128,70	107,50	105,00	426,30
3:00	365,00	15,12	27,20	0,00	99,00	90,00	85,00	441,76
3:30	365,00	7,56	20,40	0,00	94,05	75,00	62,50	441,98
4:00	365,00	0,00	13,60	0,00	89,10	60,00	40,00	442,20
4:30	365,00	0,00	10,20	0,00	89,10	60,00	37,50	416,28
5:00	365,00	0,00	6,80	0,00	89,10	60,00	35,00	390,36
5:30	365,00	0,00	10,20	0,00	79,20	60,00	30,00	380,50
6:00	365,00	0,00	13,60	0,00	69,30	60,00	25,00	370,64
6:30	365,00	0,00	10,20	7,96	64,35	60,00	37,50	356,05
7:00	365,00	0,00	6,80	15,92	59,40	60,00	50,00	341,45
7:30	367,50	12,60	10,20	15,92	69,30	65,00	85,00	349,68
8:00	370,00	25,19	13,60	15,92	79,20	70,00	120,00	357,91
8:30	372,50	50,39	23,80	27,85	79,20	65,00	135,00	394,72
9:00	375,00	75,58	34,00	39,79	79,20	60,00	150,00	431,54
9:30	375,00	90,70	44,20	43,77	89,10	70,00	122,50	418,40
10:00	375,00	105,82	54,40	47,75	99,00	80,00	95,00	405,27
10:30	377,50	103,30	57,80	63,67	99,00	87,50	87,50	405,74
11:00	380,00	100,78	61,20	79,58	99,00	95,00	80,00	406,21
11:30	385,00	95,74	61,20	75,60	108,90	97,50	75,00	436,63
12:00	390,00	90,70	61,20	71,63	118,80	100,00	70,00	467,05
12:30	395,00	100,78	40,80	71,63	138,60	110,00	70,00	495,73
13:00	400,00	110,86	20,40	71,63	158,40	120,00	70,00	524,42
13:30	400,00	105,82	27,20	87,54	168,30	130,00	75,00	491,57
14:00	400,00	100,78	34,00	103,46	178,20	140,00	80,00	458,72
14:30	400,00	100,78	57,80	107,44	198,00	130,00	72,50	393,12
15:00	400,00	100,78	81,60	111,42	217,80	120,00	65,00	327,52
15:30	397,50	90,70	91,80	103,46	217,80	120,00	57,50	320,55
16:00	395,00	80,62	102,00	95,50	217,80	120,00	50,00	313,57
16:30	397,50	70,54	78,20	87,54	217,80	115,00	80,00	318,75
17:00	400,00	60,47	54,40	79,58	217,80	110,00	110,00	323,93
17:30	390,00	70,54	54,40	63,67	207,90	120,00	130,00	355,11
18:00	380,00	80,62	54,40	47,75	198,00	130,00	150,00	386,28
18:30	390,00	65,51	54,40	55,71	217,80	140,00	170,00	441,97
19:00	400,00	50,39	54,40	63,67	237,60	150,00	190,00	497,65
19:30	400,00	55,43	54,40	63,67	257,40	180,00	250,00	555,20
20:00	400,00	60,47	54,40	63,67	277,20	210,00	310,00	612,75
20:30	410,00	60,47	61,20	55,71	297,00	220,00	350,00	670,41
21:00	420,00	60,47	68,00	47,75	316,80	230,00	390,00	728,07
21:30	410,00	60,47	102,00	55,71	316,80	247,50	420,00	652,65
22:00	400,00	60,47	136,00	63,67	316,80	265,00	450,00	577,22
22:30	400,00	55,43	153,00	71,63	321,75	267,50	435,00	496,29
23:00	400,00	50,39	170,00	79,58	326,70	270,00	420,00	415,35
23:30	400,00	45,35	132,60	55,71	316,80	250,00	377,50	440,56

Tabela 8 - Consumo típico dos equipamentos domésticos (MW) corrigido com as novas taxas de posse.

Hora	Parametrizáveis	Agendáveis			Não controláveis			
	Equipamentos de frio	Máquina de lavar roupa	Máquina de lavar loiça	Máquina de secar roupa	Conjunto informático	Conjunto audiovisual	Iluminação	Outras aplicações
0:00	400,00	195,80	201,09	172,81	306,90	230,00	335,00	465,77
0:30	395,00	195,80	201,09	172,81	272,25	205,00	277,50	399,22
1:00	390,00	195,80	201,09	172,81	237,60	180,00	220,00	332,68
1:30	380,00	195,80	201,09	172,81	198,00	152,50	172,50	371,76
2:00	370,00	195,80	201,09	172,81	158,40	125,00	125,00	410,85
2:30	367,50	195,80	201,09	172,81	128,70	107,50	105,00	426,30
3:00	365,00	195,80	201,09	172,81	99,00	90,00	85,00	441,76
3:30	365,00	195,80	201,09	172,81	94,05	75,00	62,50	441,98
4:00	365,00	195,80	201,09	172,81	89,10	60,00	40,00	442,20
4:30	365,00	195,80	201,09	172,81	89,10	60,00	37,50	416,28
5:00	365,00	195,80	201,09	172,81	89,10	60,00	35,00	390,36
5:30	365,00	195,80	201,09	172,81	79,20	60,00	30,00	380,50
6:00	365,00	195,80	201,09	172,81	69,30	60,00	25,00	370,64
6:30	365,00	195,80	201,09	172,81	64,35	60,00	37,50	356,05
7:00	365,00	0,00	0,00	0,00	59,40	60,00	50,00	341,45
7:30	367,50	0,00	0,00	0,00	69,30	65,00	85,00	349,68
8:00	370,00	0,00	0,00	0,00	79,20	70,00	120,00	357,91
8:30	372,50	0,00	0,00	0,00	79,20	65,00	135,00	394,72
9:00	375,00	0,00	0,00	0,00	79,20	60,00	150,00	431,54
9:30	375,00	0,00	0,00	0,00	89,10	70,00	122,50	418,40
10:00	375,00	0,00	0,00	0,00	99,00	80,00	95,00	405,27
10:30	377,50	0,00	0,00	0,00	99,00	87,50	87,50	405,74
11:00	380,00	0,00	0,00	0,00	99,00	95,00	80,00	406,21
11:30	385,00	0,00	0,00	0,00	108,90	97,50	75,00	436,63
12:00	390,00	0,00	0,00	0,00	118,80	100,00	70,00	467,05
12:30	395,00	0,00	0,00	0,00	138,60	110,00	70,00	495,73
13:00	400,00	0,00	0,00	0,00	158,40	120,00	70,00	524,42
13:30	400,00	0,00	0,00	0,00	168,30	130,00	75,00	491,57
14:00	400,00	0,00	0,00	0,00	178,20	140,00	80,00	458,72
14:30	400,00	0,00	0,00	0,00	198,00	130,00	72,50	393,12
15:00	400,00	0,00	0,00	0,00	217,80	120,00	65,00	327,52
15:30	397,50	0,00	0,00	0,00	217,80	120,00	57,50	320,55
16:00	395,00	0,00	0,00	0,00	217,80	120,00	50,00	313,57
16:30	397,50	0,00	0,00	0,00	217,80	115,00	80,00	318,75
17:00	400,00	0,00	0,00	0,00	217,80	110,00	110,00	323,93
17:30	390,00	0,00	0,00	0,00	207,90	120,00	130,00	355,11
18:00	380,00	0,00	0,00	0,00	198,00	130,00	150,00	386,28
18:30	390,00	0,00	0,00	0,00	217,80	140,00	170,00	441,97
19:00	400,00	0,00	0,00	0,00	237,60	150,00	190,00	497,65
19:30	400,00	0,00	0,00	0,00	257,40	180,00	250,00	555,20
20:00	400,00	0,00	0,00	0,00	277,20	210,00	310,00	612,75
20:30	410,00	0,00	0,00	0,00	297,00	220,00	350,00	670,41
21:00	420,00	0,00	0,00	0,00	316,80	230,00	390,00	728,07
21:30	410,00	0,00	0,00	0,00	316,80	247,50	420,00	652,65
22:00	400,00	0,00	0,00	0,00	316,80	265,00	450,00	577,22
22:30	400,00	0,00	0,00	0,00	321,75	267,50	435,00	496,29
23:00	400,00	0,00	0,00	0,00	326,70	270,00	420,00	415,35
23:30	400,00	0,00	0,00	0,00	316,8	250	377,5	440,56

Tabela 9 - Deslocamento das cargas domésticas agendáveis para os períodos de vazio e supervazio.

hora	EDIS SE			BTN C domésticos, MW	
	SE-domésticos	SE sem gestão de cargas	SE com gestão de cargas	Domésticos sem gestão de cargas	Domésticos com gestão de cargas
00:00	2181,058374	4086,068272	4456,703256	1905,009899	2275,644883
00:30	2194,68321	3949,436088	4281,634961	1754,752878	2086,951751
01:00	2143,93887	3748,434727	4042,197489	1604,495857	1898,258619
01:30	2140,212926	3600,358058	3952,956931	1460,145131	1812,744004
02:00	2159,528665	3475,32307	3886,758055	1315,794406	1727,22939
02:30	2165,097255	3384,531804	3838,080677	1219,43455	1672,983423
03:00	2197,365783	3320,440476	3816,103238	1123,074693	1618,737455
03:30	2203,753849	3270,241099	3780,262195	1066,48725	1576,508345
04:00	2230,384038	3240,283845	3764,663273	1009,899807	1534,279235
04:30	2244,277469	3222,355888	3750,135316	978,078419	1505,857848
05:00	2282,632332	3228,889363	3760,068791	946,2570312	1477,43646
05:30	2332,228119	3257,127003	3784,906432	924,898884	1452,678313
06:00	2397,994849	3301,535586	3825,915014	903,5407367	1427,920165
06:30	2460,956791	3362,012744	3881,833839	901,0559528	1420,877048
07:00	2507,352378	3405,923547	3383,20688	898,5711688	875,8545022
07:30	2598,746838	3573,944642	3535,230753	975,1978042	936,4839154
08:00	2772,147115	3823,971555	3769,260444	1051,82444	997,1133286
08:30	3072,608179	4221,076113	4119,033058	1148,467935	1046,424879
09:00	3234,020663	4479,132093	4329,757093	1245,111429	1095,736429
09:30	3438,304668	4691,979629	4513,308795	1253,67496	1075,004127
10:00	3551,26962	4813,508111	4605,541444	1262,238491	1054,271825
10:30	3639,954552	4921,959053	4697,195164	1282,004501	1057,240612
11:00	3696,417962	4998,188473	4756,627361	1301,770511	1060,2094
11:30	3749,145596	5084,719185	4852,17613	1335,573589	1103,030533
12:00	3727,5369	5096,913567	4873,388567	1369,376667	1145,851667
12:30	3567,339488	4989,876715	4776,673938	1422,537227	1209,334449
13:00	3376,984174	4852,681962	4649,801406	1475,697787	1272,817232
13:30	3363,337183	4848,764269	4628,205936	1485,427087	1264,868753
14:00	3437,696901	4932,853286	4694,617175	1495,156386	1256,920275
14:30	3551,777558	5011,415068	4745,39979	1459,63751	1193,622232
15:00	3572,488267	4996,6069	4702,812456	1424,118633	1130,324189
15:30	3558,987482	4958,293084	4672,334751	1399,305602	1113,347269
16:00	3550,493861	4924,986431	4646,864209	1374,49257	1096,370348
16:30	3548,759861	4914,09709	4677,810979	1365,337229	1129,051118
17:00	3528,179627	4884,361515	4689,911515	1356,181888	1161,731888
17:30	3520,578352	4912,197453	4723,586342	1391,619101	1203,00799
18:00	3558,109106	4985,165421	4802,393199	1427,056315	1244,284093
18:30	3503,424292	5038,804755	4863,190866	1535,380463	1359,766574
19:00	3489,407802	5133,112414	4964,656858	1643,704611	1475,249056
19:30	3380,385517	5196,477438	5022,982994	1816,091922	1642,597477
20:00	3230,727684	5219,206916	5040,673583	1988,479232	1809,945899
20:30	3102,824273	5227,606498	5050,231498	2124,782225	1947,407225
21:00	2952,594509	5213,679727	5037,46306	2261,085218	2084,868551
21:30	2893,797719	5158,918857	4940,743857	2265,121138	2046,946138
22:00	2741,981024	5011,138083	4751,00475	2269,157059	2009,023726
22:30	2605,826388	4806,416947	4526,364169	2200,590558	1920,537781
23:00	1597,801027	3729,825085	3429,852862	2132,024058	1832,051836
23:30	1479,910689	3498,427667	3264,769334	2018,516978	1784,858645

Tabela 10 - Impacto do deslocamento de cargas nos diagramas doméstico e das subestações

hora				BTN C domésticos, MW	
	SE-domésticos	SE sem gestão de cargas	SE com gestão de cargas	Domésticos sem gestão de cargas	Domésticos com gestão de cargas
00:00	2181,058374	4086,068272	4187,713542	1905,009899	2006,655169
00:30	2194,68321	3949,436088	4066,443189	1754,752878	1871,759979
01:00	2143,93887	3748,434727	3934,601603	1604,495857	1790,662733
01:30	2140,212926	3600,358058	3899,158988	1460,145131	1758,946061
02:00	2159,528665	3475,32307	3886,758055	1315,794406	1727,22939
02:30	2165,097255	3384,531804	3838,080677	1219,43455	1672,983423
03:00	2197,365783	3320,440476	3816,103238	1123,074693	1618,737455
03:30	2203,753849	3270,241099	3780,262195	1066,48725	1576,508345
04:00	2230,384038	3240,283845	3764,663273	1009,899807	1534,279235
04:30	2244,277469	3222,355888	3750,135316	978,078419	1505,857848
05:00	2282,632332	3228,889363	3760,068791	946,2570312	1477,43646
05:30	2332,228119	3257,127003	3784,906432	924,898884	1452,678313
06:00	2397,994849	3301,535586	3772,117071	903,5407367	1374,122222
06:30	2460,956791	3362,012744	3774,237954	901,0559528	1313,281162
07:00	2507,352378	3405,923547	3759,79248	898,5711688	1252,440102
07:30	2598,746838	3573,944642	3804,220468	975,1978042	1205,47363
08:00	2772,147115	3823,971555	3930,654272	1051,82444	1158,507157
08:30	3072,608179	4221,076113	4119,033058	1148,467935	1046,424879
09:00	3234,020663	4479,132093	4329,757093	1245,111429	1095,736429
09:30	3438,304668	4691,979629	4513,308795	1253,67496	1075,004127
10:00	3551,26962	4813,508111	4605,541444	1262,238491	1054,271825
10:30	3639,954552	4921,959053	4697,195164	1282,004501	1057,240612
11:00	3696,417962	4998,188473	4756,627361	1301,770511	1060,2094
11:30	3749,145596	5084,719185	4852,17613	1335,573589	1103,030533
12:00	3727,5369	5096,913567	4873,388567	1369,376667	1145,851667
12:30	3567,339488	4989,876715	4776,673938	1422,537227	1209,334449
13:00	3376,984174	4852,681962	4649,801406	1475,697787	1272,817232
13:30	3363,337183	4848,764269	4628,205936	1485,427087	1264,868753
14:00	3437,696901	4932,853286	4694,617175	1495,156386	1256,920275
14:30	3551,777558	5011,415068	4745,39979	1459,63751	1193,622232
15:00	3572,488267	4996,6069	4702,812456	1424,118633	1130,324189
15:30	3558,987482	4958,293084	4672,334751	1399,305602	1113,347269
16:00	3550,493861	4924,986431	4646,864209	1374,49257	1096,370348
16:30	3548,759861	4914,09709	4677,810979	1365,337229	1129,051118
17:00	3528,179627	4884,361515	4689,911515	1356,181888	1161,731888
17:30	3520,578352	4912,197453	4723,586342	1391,619101	1203,00799
18:00	3558,109106	4985,165421	4802,393199	1427,056315	1244,284093
18:30	3503,424292	5038,804755	4863,190866	1535,380463	1359,766574
19:00	3489,407802	5133,112414	4964,656858	1643,704611	1475,249056
19:30	3380,385517	5196,477438	5022,982994	1816,091922	1642,597477
20:00	3230,727684	5219,206916	5040,673583	1988,479232	1809,945899
20:30	3102,824273	5227,606498	5050,231498	2124,782225	1947,407225
21:00	2952,594509	5213,679727	5037,46306	2261,085218	2084,868551
21:30	2893,797719	5158,918857	4940,743857	2265,121138	2046,946138
22:00	2741,981024	5011,138083	4751,00475	2269,157059	2009,023726
22:30	2605,826388	4806,416947	4526,364169	2200,590558	1920,537781
23:00	1597,801027	3729,825085	3429,852862	2132,024058	1832,051836
23:30	1479,910689	3498,427667	3264,769334	2018,516978	1784,858645

Tabela 11- *Impacto do deslocamento de cargas no diagrama das subestações, com atenuação*

### ANEXO 3 – FUNÇÃO DE DIFUSÃO DE INOVAÇÃO

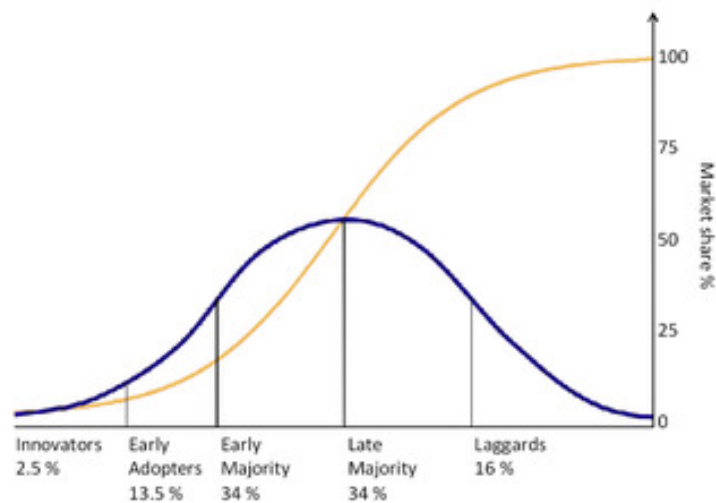


Figura 60 - Modelo de difusão de uma inovação<sup>52</sup>.

A linha azul representa os sucessivos grupos de consumidores que adotam uma nova tecnologia e a linha a amarelo representa a sua penetração no mercado, ao longo do tempo.

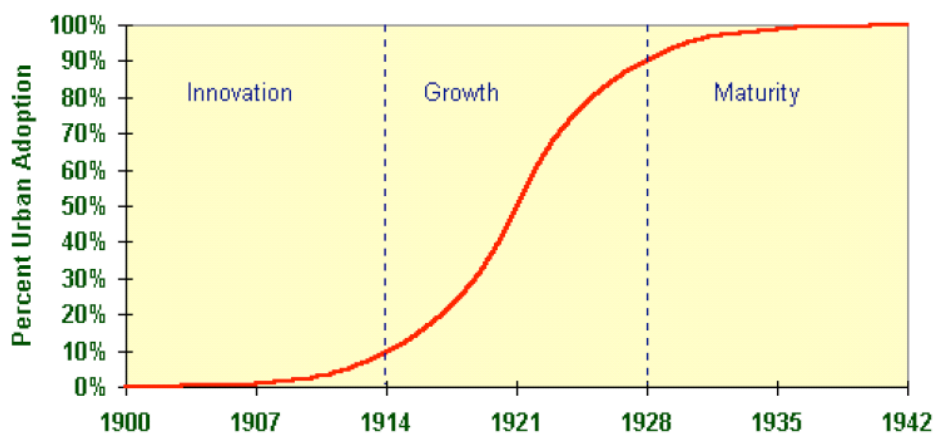


Figura 61 - Um exemplo de curva em S, representando a introdução e a disseminação do automóvel no mercado [101]

<sup>52</sup> Figura extraída de [http://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion\\_of\\_innovations](http://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion_of_innovations).

O modelo de difusão de inovação, atribuído a Everett Rogers, delinía o processo pelo qual uma inovação se expande através dos canais de comunicação entre os membros de uma comunidade [102].

## ANEXO 4 – CENÁRIOS DE PENETRAÇÃO DO VEÍCULO ELÉCTRICO

$$P(t) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta \Delta t)}}$$

$M_t = 210\,936$  total de viaturas vendidas por ano

$N_t = M_t \times P_t$ : Em cada ano vendem-se  $M_t$  veículos e, destes,  $N_t$  são veículos eléctricos.

	cenário 1, Pf = 0,1		cenário 2, Pf = 0,25		cenário 3, Pf = 0,5	
	Pt	Nt	Pt	Nt	Pt	Nt
2012	0,0021624	456,13883	0,0024425	515,21513	0,0027588	581,92147
2013	0,0035325	745,13378	0,0045049	950,24849	0,0057434	1211,5002
2014	0,0057656	1216,1687	0,0082943	1749,5578	0,0119187	2514,077
2015	0,009397	1982,1595	0,0152223	3210,9316	0,0245693	5182,5461
2016	0,0152804	3223,1867	0,0277751	5858,777	0,0499683	10540,123
2017	0,0247554	5221,8015	0,0501523	10578,927	0,0989604	20874,321
2018	0,0398677	8409,5315	0,088909	18754,124	0,1865549	39351,165
2019	0,0636038	13416,346	0,1527982	32230,666	0,3238189	68305,114
2020	0,1	21093,617	0,25	52734,042	0,5	105468,08
2021	0,1538024	32442,494	0,3812128	80411,565	0,6761811	142631,05
2022	0,2291806	48342,487	0,5324057	112303,62	0,8134451	171585
2023	0,3272162	69021,728	0,6778729	142987,9	0,9010396	190061,85
2024	0,4430822	93462,055	0,7954706	167793,51	0,9500317	200396,04
2025	0,5654911	119282,52	0,8778719	185174,94	0,9754307	205753,62
2026	0,6804017	143521,33	0,9299967	196169,94	0,9880813	208422,09
2027	0,7769117	163878,78	0,9608662	202681,43	0,9942566	209724,67
2028	0,8506743	179437,98	0,9784387	206388,1	0,9972412	210354,25
2029	0,9030901	190494,36	0,9882172	208450,76	0,9986769	210657,09
2030	0,9384385	197950,62	0,9935901	209584,08	0,999366	210802,42

Tabela 12 - Cenários de penetração do veículo eléctrico



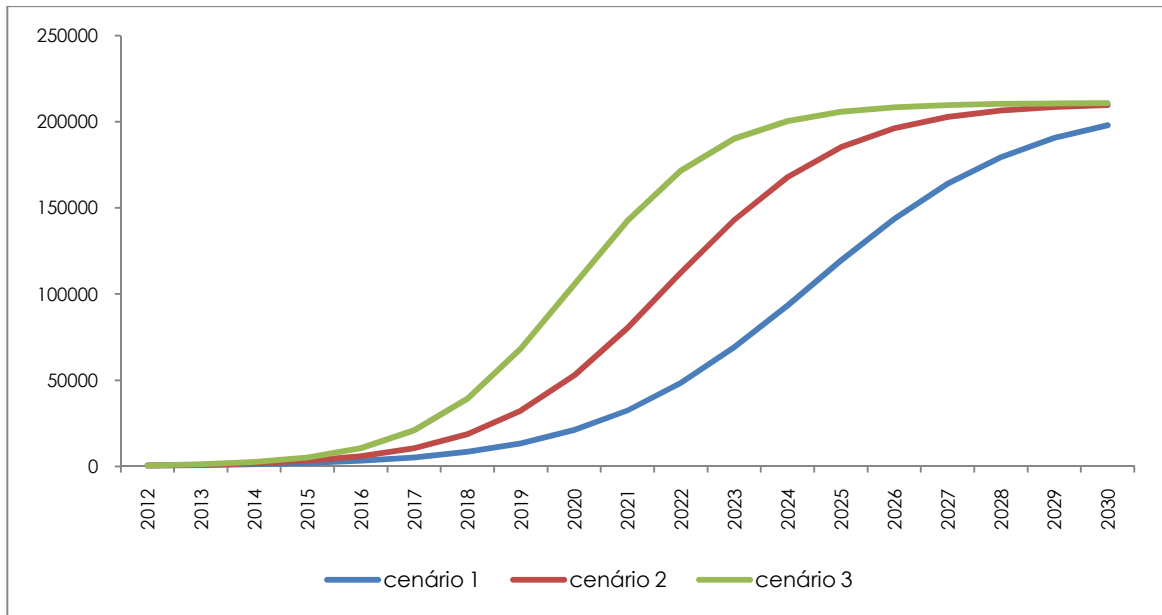


Figura 62 - Simulação da fase de amadurecimento, para cada cenário

## ANEXO 5 – SOLICITAÇÃO DE ENERGIA À REDE, PARA CARREGAMENTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

hora	x	y	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$	$e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma}}$
0:00	0	2,76047E-88	0,1994711	1,3839E-87
0:30	1	5,36589E-84	0,1994711	2,69006E-83
1:00	2	8,12318E-80	0,1994711	4,07236E-79
1:30	3	9,57716E-76	0,1994711	4,80128E-75
2:00	4	8,79375E-72	0,1994711	4,40853E-71
2:30	5	6,28836E-68	0,1994711	3,15252E-67
3:00	6	3,50209E-64	0,1994711	1,75569E-63
3:30	7	1,51895E-60	0,1994711	7,61489E-60
4:00	8	5,13082E-57	0,1994711	2,57221E-56
4:30	9	1,34976E-53	0,1994711	6,76668E-53
5:00	10	2,76535E-50	0,1994711	1,38634E-49
5:30	11	4,41238E-47	0,1994711	2,21204E-46
6:00	12	5,48303E-44	0,1994711	2,74879E-43
6:30	13	5,30634E-41	0,1994711	2,66021E-40
7:00	14	3,99941E-38	0,1994711	2,00501E-37
7:30	15	2,3476E-35	0,1994711	1,17691E-34
8:00	16	1,07319E-32	0,1994711	5,38019E-32
8:30	17	3,82083E-30	0,1994711	1,91548E-29
9:00	18	1,05941E-27	0,1994711	5,31109E-27
9:30	19	2,28769E-25	0,1994711	1,14688E-24
10:00	20	3,8473E-23	0,1994711	1,92875E-22
10:30	21	5,03897E-21	0,1994711	2,52616E-20
11:00	22	5,13989E-19	0,1994711	2,57676E-18
11:30	23	4,08312E-17	0,1994711	2,04697E-16
12:00	24	2,52614E-15	0,1994711	1,26642E-14
12:30	25	1,21716E-13	0,1994711	6,10194E-13
13:00	26	4,56736E-12	0,1994711	2,28973E-11
13:30	27	1,33478E-10	0,1994711	6,69159E-10
14:00	28	3,03794E-09	0,1994711	1,523E-08
14:30	29	5,38488E-08	0,1994711	2,69958E-07
15:00	30	7,4336E-07	0,1994711	3,72665E-06
15:30	31	7,99187E-06	0,1994711	4,00653E-05
16:00	32	6,69151E-05	0,1994711	0,000335463
16:30	33	0,000436341	0,1994711	0,002187491
17:00	34	0,002215924	0,1994711	0,011108997
17:30	35	0,00876415	0,1994711	0,043936934
18:00	36	0,026995483	0,1994711	0,135335283
18:30	37	0,064758798	0,1994711	0,324652467
19:00	38	0,120985362	0,1994711	0,60653066
19:30	39	0,176032663	0,1994711	0,882496903
20:00	40	0,19947114	0,1994711	1
20:30	41	0,176032663	0,1994711	0,882496903
21:00	42	0,120985362	0,1994711	0,60653066
21:30	43	0,064758798	0,1994711	0,324652467
22:00	44	0,026995483	0,1994711	0,135335283
22:30	45	0,00876415	0,1994711	0,043936934
23:00	46	0,002215924	0,1994711	0,011108997
23:30	47	0,000436341	0,1994711	0,002187491

Distribuição do número de veículos eléctricos ligados à rede para carregamento:

$$y = f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma}} \quad [1]$$

$\sigma = 2$ , corresponde a 1 h

$\mu = 40$ , corresponde às 20:00h

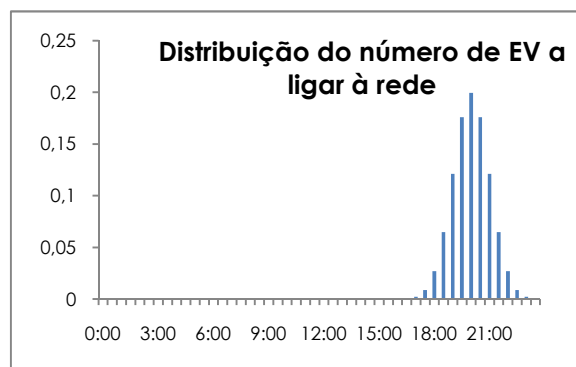


Tabela 13 - Distribuição do número de veículos eléctricos ligados à rede para carregamento

## Distribuição das necessidades de carga dos veículos eléctricos:

### Pressupostos

Trajecto diário médio de uma pessoa que resida numa cidade média na Europa: 35 Km

Consumo médio dos veículos eléctricos: 200Wh/Km

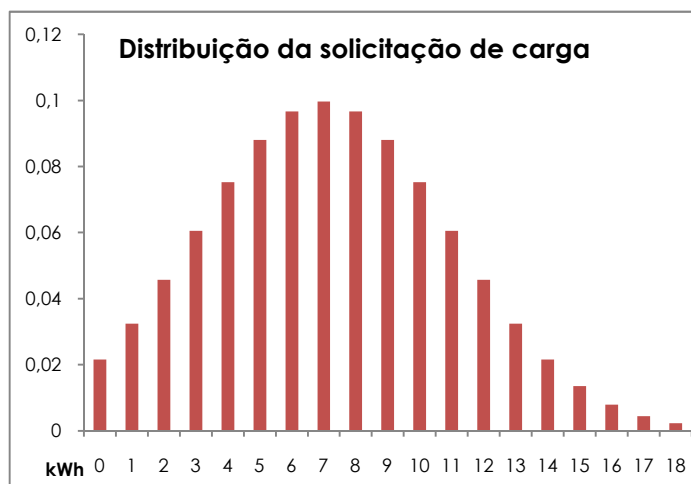
Potência média de carregamento: 3kW (apenas carga lenta)

Capacidade das baterias: 18 kWh (procura máxima)

Procura média para carregamento: 7 kWh, correspondendo ao trajecto médio diário de 35 Km

$\mu$	7
$\sigma$	4

x	y	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$	$= e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$
0	0,0215693	0,0997356	0,2162652
1	0,0323794	0,0997356	0,3246525
2	0,0456623	0,0997356	0,4578334
3	0,0604927	0,0997356	0,6065307
4	0,0752844	0,0997356	0,7548396
5	0,0880163	0,0997356	0,8824969
6	0,096667	0,0997356	0,9692332
7	0,0997356	0,0997356	1
8	0,096667	0,0997356	0,9692332
9	0,0880163	0,0997356	0,8824969
10	0,0752844	0,0997356	0,7548396
11	0,0604927	0,0997356	0,6065307
12	0,0456623	0,0997356	0,4578334
13	0,0323794	0,0997356	0,3246525
14	0,0215693	0,0997356	0,2162652
15	0,0134977	0,0997356	0,1353353
16	0,0079349	0,0997356	0,0795595
17	0,0043821	0,0997356	0,0439369
18	0,0022734	0,0997356	0,0227942



O carregamento médio, de 7 kWh, demora 2:33 h. Considerou-se que, em média, veículo carrega durante 2:30h

Tabela 14- Distribuição da solicitação de energia à rede, para carregamento dos veículos eléctricos, em 2020

Nº total de veículos eléctricos em 2020			55967,083	126785,49	254231,85
			potência tomada (MW)		
hora	percentagem de EV que iniciam carregamento	percentagem de EV em carga	cenário 1	cenário 2	cenário 3
0:00	2,76047E-88	0,038411899	6,4494059	14,610214	29,296585
0:30	5,36589E-84	0,011416416	1,9168305	4,3423075	8,7072496
1:00	8,12318E-80	0,002652266	0,4453187	1,0088063	2,0228712
1:30	9,57716E-76	0,000436341	0,0732623	0,1659653	0,3327956
2:00	8,79375E-72	8,79471E-72	1,477E-69	3,345E-69	6,708E-69
2:30	6,28836E-68	6,28924E-68	1,056E-65	2,392E-65	4,797E-65
3:00	3,50209E-64	3,50272E-64	5,881E-62	1,332E-61	2,672E-61
3:30	1,51895E-60	1,5193E-60	2,551E-58	5,779E-58	1,159E-57
4:00	5,13082E-57	5,13233E-57	8,617E-55	1,952E-54	3,914E-54
4:30	1,34976E-53	1,35027E-53	2,267E-51	5,136E-51	1,03E-50
5:00	2,76535E-50	2,76671E-50	4,645E-48	1,052E-47	2,11E-47
5:30	4,41238E-47	4,41514E-47	7,413E-45	1,679E-44	3,367E-44
6:00	5,48303E-44	5,48745E-44	9,213E-42	2,087E-41	4,185E-41
6:30	5,30634E-41	5,31183E-41	8,919E-39	2,02E-38	4,051E-38
7:00	3,99941E-38	4,00473E-38	6,724E-36	1,523E-35	3,054E-35
7:30	2,3476E-35	2,3516E-35	3,948E-33	8,944E-33	1,794E-32
8:00	1,07319E-32	1,07554E-32	1,806E-30	4,091E-30	8,203E-30
8:30	3,82083E-30	3,83158E-30	6,433E-28	1,457E-27	2,922E-27
9:00	1,05941E-27	1,06324E-27	1,785E-25	4,044E-25	8,109E-25
9:30	2,28769E-25	2,29832E-25	3,859E-23	8,742E-23	1,753E-22
10:00	3,8473E-23	3,87028E-23	6,498E-21	1,472E-20	2,952E-20
10:30	5,03897E-21	5,07767E-21	8,525E-19	1,931E-18	3,873E-18
11:00	5,13989E-19	5,19066E-19	8,715E-17	1,974E-16	3,959E-16
11:30	4,08312E-17	4,13502E-17	6,943E-15	1,573E-14	3,154E-14
12:00	2,52614E-15	2,56749E-15	4,311E-13	9,766E-13	1,958E-12
12:30	1,21716E-13	1,24284E-13	2,087E-11	4,727E-11	9,479E-11
13:00	4,56736E-12	4,69164E-12	7,877E-10	1,784E-09	3,578E-09
13:30	1,33478E-10	1,38169E-10	2,32E-08	5,255E-08	1,054E-07
14:00	3,03794E-09	3,17611E-09	5,333E-07	1,208E-06	2,422E-06
14:30	5,38488E-08	5,70249E-08	9,575E-06	2,169E-05	4,349E-05
15:00	7,4336E-07	8,00385E-07	0,0001344	0,0003044	0,0006104
15:30	7,99187E-06	8,79225E-06	0,0014762	0,0033442	0,0067058
16:00	6,69151E-05	7,57072E-05	0,0127113	0,0287957	0,0577416
16:30	0,000436341	0,000512046	0,0859731	0,1947598	0,3905349
17:00	0,002215924	0,002727916	0,4580205	1,0375804	2,0805693
17:30	0,00876415	0,011491323	1,9294075	4,3707989	8,7643808
18:00	0,026995483	0,038478814	6,460641	14,635666	29,347621
18:30	0,064758798	0,103170697	17,322489	39,241641	78,687832
19:00	0,120985362	0,223719718	37,56282	85,093241	170,63003
19:30	0,176032663	0,397536457	66,746868	151,20556	303,19929
20:00	0,19947114	0,588243447	98,76681	223,7422	448,65066
20:30	0,176032663	0,737280627	123,79034	280,42945	562,32066
21:00	0,120985362	0,793507191	133,23085	301,81559	605,20441
21:30	0,064758798	0,737280627	123,79034	280,42945	562,32066
22:00	0,026995483	0,588243447	98,76681	223,7422	448,65066
22:30	0,00876415	0,397536457	66,746868	151,20556	303,19929
23:00	0,002215924	0,223719718	37,56282	85,093241	170,63003
23:30	0,000436341	0,103170697	17,322489	39,241641	78,687832

Tabela 15 - Consumo de energia decorrente do carregamento dos veículos eléctricos

**ANEXO 6 – IMPACTO DO VEÍCULO ELÉCTRICO NO DIAGRAMA DE CARGAS  
DOMÉSTICO**

hora	domésticos, MW	cenário 1	cenário 2	cenário 3	hora	domésticos, MW	cenário 1	cenário 2	cenário 3
00:00	1905,01	1911,46	1926,07	1955,37	12:00	1369,38	1369,38	1369,38	1369,38
00:30	1754,75	1756,67	1761,01	1769,72	12:30	1422,54	1422,54	1422,54	1422,54
01:00	1604,5	1604,94	1605,95	1607,97	13:00	1475,7	1475,7	1475,7	1475,7
01:30	1460,15	1460,22	1460,38	1460,72	13:30	1485,43	1485,43	1485,43	1485,43
02:00	1315,79	1315,79	1315,79	1315,79	14:00	1495,16	1495,16	1495,16	1495,16
02:30	1219,43	1219,43	1219,43	1219,43	14:30	1459,64	1459,64	1459,64	1459,64
03:00	1123,07	1123,07	1123,07	1123,07	15:00	1424,12	1424,12	1424,12	1424,12
03:30	1066,49	1066,49	1066,49	1066,49	15:30	1399,31	1399,31	1399,31	1399,32
04:00	1009,9	1009,9	1009,9	1009,9	16:00	1374,49	1374,51	1374,53	1374,59
04:30	978,08	978,08	978,08	978,08	16:30	1365,34	1365,42	1365,62	1366,01
05:00	946,26	946,26	946,26	946,26	17:00	1356,18	1356,64	1357,68	1359,76
05:30	924,9	924,9	924,9	924,9	17:30	1391,62	1393,55	1397,92	1406,68
06:00	903,54	903,54	903,54	903,54	18:00	1427,06	1433,52	1448,15	1477,5
06:30	901,06	901,06	901,06	901,06	18:30	1535,38	1552,7	1591,94	1670,63
07:00	898,57	898,57	898,57	898,57	19:00	1643,7	1681,27	1766,36	1936,99
07:30	975,2	975,2	975,2	975,2	19:30	1816,09	1882,84	2034,04	2337,24
08:00	1051,82	1051,82	1051,82	1051,82	20:00	1988,48	2087,25	2310,99	2759,64
08:30	1148,47	1148,47	1148,47	1148,47	20:30	2124,78	2248,57	2529	3091,32
09:00	1245,11	1245,11	1245,11	1245,11	21:00	2261,09	2394,32	2696,13	3301,34
09:30	1253,67	1253,67	1253,67	1253,67	21:30	2265,12	2388,91	2669,34	3231,66
10:00	1262,24	1262,24	1262,24	1262,24	22:00	2269,16	2367,92	2591,67	3040,32
10:30	1282	1282	1282	1282	22:30	2200,59	2267,34	2418,54	2721,74
11:00	1301,77	1301,77	1301,77	1301,77	23:00	2132,02	2169,59	2254,68	2425,31
11:30	1335,57	1335,57	1335,57	1335,57	23:30	2018,52	2035,84	2075,08	2153,77

Tabela 16 - *Impacto do carregamento do veículo eléctrico no diagrama de cargas doméstico*

ANEXO 7 – SIMULAÇÃO DO DESLOCAMENTO DAS CARGAS DOMÉSTICAS,  
INCLUINDO OS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Hora	Parametrizáveis	Agendáveis						Não controláveis			
	Equipamentos de frio	M. lavar roupa	M. lavar loiça	M. secar roupa	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	conjunto informático	conjunto audiovisual	iluminação	outras aplicações
0:00	400	156,64	240,21	157,43	47,97	108,67	217,90	306,9	230	335	465,77
0:30	395	156,64	240,21	157,43	47,97	108,67	217,90	272,25	205	277,5	399,22
1:00	390	195,8	300,26	196,79	59,96	135,83	272,37	237,6	180	220	332,68
1:30	380	195,8	300,26	196,79	59,96	135,83	272,37	198	152,5	172,5	371,76
2:00	370	195,84	300,26	196,79	59,96	135,83	272,37	158,4	125	125	410,85
2:30	367,5	195,8	300,26	196,79	59,96	135,83	272,37	128,7	107,5	105	426,30
3:00	365	195,8	300,26	196,79	59,96	135,83	272,37	99	90	85	441,76
3:30	365	195,8	300,26	196,79	59,96	135,83	272,37	94,05	75	62,5	441,98
4:00	365	195,8	300,26	196,79	59,96	135,83	272,37	89,1	60	40	442,20
4:30	365	195,8	300,26	196,79	59,96	135,83	272,37	89,1	60	37,5	416,28
5:00	365	176,2	270,24	177,11	53,96	122,25	245,13	89,1	60	35	390,36
5:30	365	156,64	240,21	157,43	47,97	108,67	217,90	79,2	60	30	380,50
6:00	365	137,06	210,18	137,75	41,97	95,08	190,66	69,3	60	25	370,64
6:30	365	117,48	180,16	118,07	35,98	81,50	163,42	64,35	60	37,5	356,05
7:00	365	97,90	150,13	98,39	29,98	67,92	136,19	59,4	60	50	341,45
7:30	367,5	78,32	120,10	78,715	23,98	54,33	108,95	69,3	65	85	349,68
8:00	370	58,74	90,01	59,04	17,99	40,75	81,71	79,2	70	120	357,91
8:30	372,5	39,16	60,052	39,36	11,99	27,17	54,47	79,2	65	135	394,72
9:00	375	0	0	0	0,00	0,00	0,00	79,2	60	150	431,54
9:30	375	0	0	0	0,00	0,00	0,00	89,1	70	122,5	418,40
10:00	375	0	0	0	0,00	0,00	0,00	99	80	95	405,27
10:30	377,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00	99	87,5	87,5	405,74
11:00	380	0	0	0	0,00	0,00	0,00	99	95	80	406,21
11:30	385	0	0	0	0,00	0,00	0,00	108,9	97,5	75	436,63
12:00	390	0	0	0	0,00	0,00	0,00	118,8	100	70	467,05
12:30	395	0	0	0	0,00	0,00	0,00	138,6	110	70	495,73
13:00	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	158,4	120	70	524,42
13:30	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	168,3	130	75	491,57
14:00	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	178,2	140	80	458,72
14:30	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	198	130	72,5	393,12
15:00	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	217,8	120	65	327,52
15:30	397,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00	217,8	120	57,5	320,55
16:00	395	0	0	0	0,00	0,00	0,00	217,8	120	50	313,57
16:30	397,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00	217,8	115	80	318,75
17:00	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	217,8	110	110	323,93
17:30	390	0	0	0	0,00	0,00	0,00	207,9	120	130	355,11
18:00	380	0	0	0	0,00	0,00	0,00	198	130	150	386,28
18:30	390	0	0	0	0,00	0,00	0,00	217,8	140	170	441,97
19:00	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	237,6	150	190	497,65
19:30	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	257,4	180	250	555,20
20:00	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	277,2	210	310	612,75
20:30	410	0	0	0	0,00	0,00	0,00	297	220	350	670,41
21:00	420	0	0	0	0,00	0,00	0,00	316,8	230	390	728,07
21:30	410	0	0	0	0,00	0,00	0,00	316,8	247,5	420	652,65
22:00	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	316,8	265	450	577,22
22:30	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	321,75	267,5	435	496,29
23:00	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	326,7	270	420	415,35
23:30	400	0	0	0	0,00	0,00	0,00	316,8	250	377,5	440,56

Tabela 17 - Deslocamento das cargas domésticas agendáveis, incluindo o veículo eléctrico.

Hora	SE sem EV	SE-domésticos	Domésticos com EV e com deslocamento de cargas			SE com EV e com deslocamento de cargas		
			Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
0:00	4086,068272	2181,058374	2339,909164	2400,606058	2509,837528	4520,967537	4581,664431	4690,895902
0:30	3949,436088	2194,68321	2151,216032	2211,912926	2321,144396	4345,899241	4406,596135	4515,827606
1:00	3748,434727	2143,93887	2113,083827	2188,954944	2325,494282	4257,022697	4332,893815	4469,433153
1:30	3600,358058	2140,212926	2027,569213	2103,44033	2239,979668	4167,782139	4243,653256	4380,192594
2:00	3475,32307	2159,528665	1942,054598	2017,925716	2154,465054	4101,583263	4177,45438	4313,993718
2:30	3384,531804	2165,097255	1887,808631	1963,679748	2100,219086	4052,905886	4128,777003	4265,316341
3:00	3320,440476	2197,365783	1833,562664	1909,433781	2045,973119	4030,928447	4106,799564	4243,338902
3:30	3270,241099	2203,753849	1791,333554	1867,204671	2003,744009	3995,087403	4070,95852	4207,497858
4:00	3240,283845	2230,384038	1749,104444	1824,975561	1961,514899	3979,488482	4055,359599	4191,898937
4:30	3222,355888	2244,277469	1720,683056	1796,554173	1933,093511	3964,960525	4040,831642	4177,37098
5:00	3228,889363	2282,632332	1616,981204	1685,26521	1808,150614	3899,613536	3967,897542	4090,782946
5:30	3257,127003	2332,228119	1516,942594	1577,639487	1686,870958	3849,170713	3909,867607	4019,099077
6:00	3301,535586	2397,994849	1416,903983	1470,013765	1565,591301	3814,898831	3868,008614	3963,58615
6:30	3362,012744	2460,956791	1334,580402	1380,103072	1462,026675	3795,537193	3841,059863	3922,983466
7:00	3405,923547	2507,352378	1252,256821	1290,192379	1358,462048	3759,609199	3797,544758	3865,814427
7:30	3573,944642	2598,746838	1237,60577	1267,954217	1322,569952	3836,352608	3866,701055	3921,31679
8:00	3823,971555	2772,147115	1222,95472	1245,716055	1286,677856	3995,101835	4017,86317	4058,824971
8:30	4221,076113	3072,608179	1196,985806	1212,16003	1239,467897	4269,593985	4284,768209	4312,076076
9:00	4479,132093	3234,020663	1095,736429	1095,736429	1095,736429	4329,757093	4329,757093	4329,757093
9:30	4691,979629	3438,304668	1075,004127	1075,004127	1075,004127	4513,308795	4513,308795	4513,308795
10:00	4813,508111	3551,26962	1054,271825	1054,271825	1054,271825	4605,541444	4605,541444	4605,541444
10:30	4921,959053	3639,954552	1057,240612	1057,240612	1057,240612	4697,195164	4697,195164	4697,195164
11:00	4998,188473	3696,417962	1060,2094	1060,2094	1060,2094	4756,627361	4756,627361	4756,627361
11:30	5084,719185	3749,145596	1103,030533	1103,030533	1103,030533	4852,17613	4852,17613	4852,17613
12:00	5096,913567	3727,5369	1145,851667	1145,851667	1145,851667	4873,388567	4873,388567	4873,388567
12:30	4989,876715	3567,339488	1209,334449	1209,334449	1209,334449	4776,673938	4776,673938	4776,673938
13:00	4852,681962	3376,984174	1272,817232	1272,817232	1272,817232	4649,801406	4649,801406	4649,801406
13:30	4848,764269	3363,337183	1264,868753	1264,868753	1264,868753	4628,205936	4628,205936	4628,205936
14:00	4932,853286	3437,696901	1256,920275	1256,920275	1256,920275	4694,617175	4694,617175	4694,617175
14:30	5011,415068	3551,777558	1193,622232	1193,622232	1193,622232	4745,39979	4745,39979	4745,39979
15:00	4996,6069	3572,488267	1130,324189	1130,324189	1130,324189	4702,812456	4702,812456	4702,812456
15:30	4958,293084	3558,987482	1113,347269	1113,347269	1113,347269	4672,334751	4672,334751	4672,334751
16:00	4924,986431	3550,493861	1096,370348	1096,370348	1096,370348	4646,864209	4646,864209	4646,864209
16:30	4914,09709	3548,759861	1129,051118	1129,051118	1129,051118	4677,810979	4677,810979	4677,810979
17:00	4884,361515	3528,179627	1161,731888	1161,731888	1161,731888	4689,911515	4689,911515	4689,911515
17:30	4912,197453	3520,578352	1203,00799	1203,00799	1203,00799	4723,586342	4723,586342	4723,586342
18:00	4985,165421	3558,109106	1244,284093	1244,284093	1244,284093	4802,393199	4802,393199	4802,393199
18:30	5038,804755	3503,424292	1359,766574	1359,766574	1359,766574	4863,190866	4863,190866	4863,190866
19:00	5133,112414	3489,407802	1475,249056	1475,249056	1475,249056	4964,656858	4964,656858	4964,656858
19:30	5196,477438	3380,385517	1642,597477	1642,597477	1642,597477	5022,982994	5022,982994	5022,982994
20:00	5219,206916	3230,727684	1809,945899	1809,945899	1809,945899	5040,673583	5040,673583	5040,673583
20:30	5227,606498	3102,824273	1947,407225	1947,407225	1947,407225	5050,231498	5050,231498	5050,231498
21:00	5213,679727	2952,594509	2084,868551	2084,868551	2084,868551	5037,46306	5037,46306	5037,46306
21:30	5158,918857	2893,797719	2046,946138	2046,946138	2046,946138	4940,743857	4940,743857	4940,743857
22:00	5011,138083	2741,981024	2009,023726	2009,023726	2009,023726	4751,00475	4751,00475	4751,00475
22:30	4806,416947	2605,826388	1920,537781	1920,537781	1920,537781	4526,364169	4526,364169	4526,364169
23:00	3729,825085	1597,801027	1832,051836	1832,051836	1832,051836	3429,852862	3429,852862	3429,852862
23:30	3498,427667	1479,910689	1784,858645	1784,858645	1784,858645	3264,769334	3264,769334	3264,769334

Tabela 18 - Impacto do carregamento do veículo eléctrico nos diagramas de cargas doméstico e das subestações da rede de distribuição

Hora	Parametrizáveis	Agendáveis				Não controláveis			
	Equipamentos de frio	Máquina de lavar roupa	Máquina de lavar loiça	Máquina de secar roupa	EV	Conjunto informático	Conjunto audiovisual	Iluminação	Outras aplicações
0:00	400	0,52987013	0,52987013	0,52987013	0,03	306,9	230	335	468,28
0:30	395	0,706493506	0,706493506	0,706493506	0,04	272,25	205	277,5	400,55
1:00	390	0,883116883	0,883116883	0,883116883	0,07	237,6	180	220	332,82
1:30	380	1,236363636	1,236363636	1,236363636	0,09	198	152,5	172,5	372,44
2:00	370	1,412987013	1,412987013	1,412987013	0,12	158,4	125	125	412,07
2:30	367,5	1,58961039	1,58961039	1,58961039	0,14	128,7	107,5	105	427,39
3:00	365	1,766233766	1,766233766	1,766233766	0,14	99	90	85	442,71
3:30	365	1,766233766	1,766233766	1,766233766	0,14	94,05	75	62,5	442,85
4:00	365	1,766233766	1,766233766	1,766233766	0,14	89,1	60	40	442,99
4:30	365	1,766233766	1,766233766	1,766233766	0,16	89,1	60	37,5	416,99
5:00	365	1,766233766	1,766233766	1,766233766	0,18	89,1	60	35	390,98
5:30	365	1,766233766	1,766233766	1,766233766	0,23	79,2	60	30	381,01
6:00	365	1,412987013	1,412987013	1,412987013	0,27	69,3	60	25	371,04
6:30	365	1,412987013	1,412987013	1,412987013	0,27	64,35	60	37,5	356,47
7:00	365	1,412987013	1,412987013	1,412987013	0,27	59,4	60	50	341,91
7:30	367,5	1,05974026	1,05974026	1,05974026	0,27	69,3	65	85	350,20
8:00	370	0,883116883	0,883116883	0,883116883	0,27	79,2	70	120	358,50
8:30	372,5	0,706493506	0,706493506	0,706493506	0,18	79,2	65	135	395,18
9:00	375	0,52987013	0,52987013	0,52987013	0,18	79,2	60	150	431,85
9:30	375	0,353246753	0,353246753	0,353246753	0,18	89,1	70	122,5	418,58
10:00	375	0	0	0	0,16	99	80	95	405,30
10:30	377,5	0	0	0	0,14	99	87,5	87,5	405,88
11:00	380	0	0	0	0,14	99	95	80	406,46
11:30	385	0	0	0	0,14	108,9	97,5	75	436,80
12:00	390	0	0	0	0,11	118,8	100	70	467,14
12:30	395	0	0	0	0,11	138,6	110	70	495,93
13:00	400	0	0	0	0,11	158,4	120	70	524,73
13:30	400	0	0	0	0,11	168,3	130	75	491,97
14:00	400	0	0	0	0,11	178,2	140	80	459,21
14:30	400	0	0	0	0,11	198	130	72,5	393,56
15:00	400	0	0	0	0,11	217,8	120	65	327,92
15:30	397,5	0	0	0	0,11	217,8	120	57,5	320,86
16:00	395	0	0	0	0,08	217,8	120	50	313,80
16:30	397,5	0	0	0	0,08	217,8	115	80	318,95
17:00	400	0	0	0	0,07	217,8	110	110	324,09
17:30	390	0	0	0	0,07	207,9	120	130	355,48
18:00	380	0	0	0	0,07	198	130	150	386,87
18:30	390	0	0	0	0,07	217,8	140	170	443,20
19:00	400	0	0	0	0,07	237,6	150	190	499,53
19:30	400	0	0	0	0,07	257,4	180	250	557,75
20:00	400	0	0	0	0,07	277,2	210	310	615,97
20:30	410	0	0	0	0,07	297	220	350	673,89
21:00	420	0	0	0	0,13	316,8	230	390	731,81
21:30	410	0	0	0	0,13	316,8	247,5	420	656,06
22:00	400	0	0	0	0,13	316,8	265	450	580,30
22:30	400	0	0	0	0,13	321,75	267,5	435	499,32
23:00	400	0	0	0	0,13	326,7	270	420	418,35
23:30	400	0	0	0	0,13	316,8	250	377,5	443,31

Tabela 19 - Simulação do impacto de um milhão de veículos eléctricos