

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

**Desenvolvimento de equipamento para ajuda ao
consumo da energia elétrica em ambiente
residencial**

Miguel Ângelo da Silva Fernandes

VERSÃO PROVISÓRIA

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Professor Hélder Leite

Fevereiro de 2013

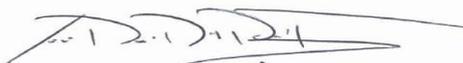
© Miguel Ângelo da Silva Fernandes, 2013

A Dissertação intitulada

“Desenvolvimento de Equipamento para Ajuda ao Consumo da Energia Elétrica
em Ambiente Residencial”

foi aprovada em provas realizadas em 08-03-2013

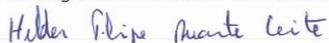
o júri



Presidente Professor Doutor José Rui da Rocha Pinto Ferreira
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professor Doutor Sérgio Augusto Pires Leitão
Professor Auxiliar Departamento de Engenharias da Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro



Professor Doutor Helder Filipe Duarte Leite
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua
exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente
autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou
inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas
usadas, são corretamente citados.



Autor - Miguel Ângelo da Silva Fernandes

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

O setor elétrico debate-se presentemente com uma série de desafios. Além dos desafios tradicionais, ligados à necessidade de uma maior qualidade de serviço e de uma redução dos custos de investimentos, com a crescente pressão sobre o setor elétrico ligada à sustentabilidade energética, às questões ambientais e tecnológicos, os operadores de rede enfrentam agora uma nova gama de desafios. O planeamento e operação da rede, a necessidade de disponibilizar mais informação aos clientes, de um aumento da eficiência energética, do aparecimento de novos serviços energéticos e novas tecnologias estão entre os principais desafios atuais do setor.

Estes desafios podem ser ultrapassados com uma maior penetração tecnológica nas redes de energia, nomeadamente com a implementação das redes inteligentes. Devido à estrutura de medição avançada presente na sua constituição, onde o contador inteligente é um constituinte chave, será possível por exemplo, conhecer o consumo de energia em tempo real e permitir uma maior eficiência no uso de energias renováveis. Será também possível obter uma maior penetração da microgeração na rede elétrica e através do seu módulo de comunicação sem-fios servir de interface entre o consumidor doméstico e a informação presente no mesmo. A implementação destas novas redes vem ainda permitir, devido à automatização e tecnologia associada às mesmas, a possibilidade de uma reestruturação e alteração de certos modelos de negócio associados ao setor elétrico, nomeadamente no mercado energético com a possibilidade do aparecimento de novos serviços e tarifários.

O principal objetivo deste trabalho será fazer o desenvolvimento de um dispositivo domiciliário que permita fazer o interface entre o consumidor doméstico e a informação presente no contador inteligente, de forma a auxiliar os consumidores em tarifários ou programas cujo preço da eletricidade possa variar várias vezes ao dia. O desenvolvimento do dispositivo será feito, numa primeira instância através da revisão da literatura, onde a partir da mesma, serão identificadas e justificadas as suas principais características, onde por fim será desenvolvida a sua arquitetura lógica e física e avaliada a sua efetividade.

Abstract

The electricity sector is currently struggling with a serie of challenges. The traditional ones, linked to the need for a higher quality of service and lower costs of investment, along with the increasing pressure on the electricity sector related to energy sustainability, environmental and technology issues, are forcing network operators to face a new range of problematics. The planning and operation of the electrical network, the need to provide more information to customers, the necessity of increasing energy efficiency, the need to develop new services and new energy technologies are among the main current challenges of the electric industry.

These challenges can be overcome with a greater technological insight in energy networks, particularly with the implementation of smart grids. Due to the advanced metering infrastructure present in its constitution, where the smart meter is a key constituent, it will be possible, for example, to know the power consumption in real time and enabling greater efficiency in the use of renewable energy. It will also be possible a greater insertion of micro generation in electrical network and through the Home Area Network (HAN) communication module present on the smart meter, it will be possible to change information between the domestic consumer and the smart meter. The implementation of these new networks will still allow, due to automation and technology associated with them, the possibility of changing and restructuring certain business models associated to the electricity sector, particularly in the energy market with the possibility of the emergence of new electric services and tariffs.

The main goal of this work will be the development of an in-home device that allows an exchange of relevant information between domestic households and the smart meter, in order to assist consumers in tariffs or programs where the electricity prices may vary several times a day. The development of the device will be made in the first instance through a literature review, from where its main features will be identified and justified, finally its physical and logical architecture will be developed.

Agradecimentos

Gostava primeiro de agradecer ao meu orientador, o Professor Hélder Leite, por toda a ajuda, confiança, empenho e motivação demonstrada ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

Gostava de agradecer de forma especial aos meus pais e irmã, onde sem o seu apoio, dedicação e ajuda nunca teria tido possibilidade de viver esta aventura e concluir o meu mestrado.

Aos meus avôs paternos e avô materna, um grande obrigado, por me terem ajudado sempre durante a minha vida, terem sempre acreditado em mim e sem o seu apoio não seria possível concluir a minha dissertação.

A todos os meus restantes familiares, obrigado pela ajuda, confiança e suporte que sempre me providenciaram.

A todos os meus amigos, que de uma forma direta ou indireta me apoiaram e ajudaram, um grande obrigado e ficarei eternamente grato.

Índice

Resumo	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Lista de figuras	xiii
Lista de tabelas	xv
Abreviaturas e Símbolos	xvi
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - As principais transformações do setor elétrico	1
1.2 - Objetivos e enquadramento dos dispositivos domiciliários no setor elétrico	2
1.3 - Estrutura da Dissertação.....	3
1.4 - Resumo	4
Capítulo 2	5
Redes e contadores inteligentes: possibilidades, estruturas e implementação	5
2.1 - Redes e contadores inteligentes: Impulsionadores e desafios para uma mudança da infraestrutura elétrica	5
2.1.1 - Redes e contadores inteligentes: Definição.....	6
2.1.2 - Redes inteligentes: Constituição e funcionalidades gerais	7
2.1.3 - Redes inteligentes: Infraestrutura de medição e comunicação	9
2.1.4 - Redes inteligentes: Possíveis benefícios da sua implementação	10
2.1.5 - Redes inteligentes: Atividade de implementação no contexto internacional.....	11
2.1.6 - Contadores inteligentes: Implementação no território nacional	13
2.2 - InovGrid Évora	17
2.2.1 - InovGrid: Infraestrutura e meios de comunicação	20
2.2.2 - InovGrid: Arquitetura técnica	20
2.2.3 - InovGrid: Caracterização do funcionamento da rede	21
2.2.4 - InovGrid: Principais benefícios	22
2.3 - Resumo	23
Capítulo 3	25
Os impulsionadores para uma participação mais ativa do consumidor no setor elétrico	25
3.1 - A necessidade da transformação e do aumento da eficiência energética no setor elétrico: Metas, Diretivas e Legislação europeia.....	25

3.1.1 - Redes e Contadores inteligentes: Diretivas Europeias	28
3.1.2 - Mercado elétrico Europeu: O porquê de um Terceiro Pacote Legislativo	31
3.2 - O Condicionamento da Procura	33
3.2.1 - Condicionamento da Procura: Definição.....	34
3.2.2 - Condicionamento da Procura: Programas existentes.....	35
3.2.3 - Condicionamento da Procura: Benefícios e custos associados.....	37
3.3 - O papel do <i>Feedback</i> de Energia no consumidor	39
3.3.1 - <i>Feedback</i> de Energia: Definição.....	40
3.3.2 - <i>Feedback</i> de Energia: Tipos e modos.....	41
3.3.3 - <i>Feedback</i> de Energia: Efetividade do <i>feedback</i> direto e indireto.....	43
3.4 - Resumo	44
Capítulo 4	45
Caso de Estudo: Desenvolvimento do dispositivo SmarTraffic	45
4.1 - SmarTraffic: Desenvolvimento do dispositivo	45
4.1.1 - SmarTraffic: Caracterização do tipo de tarifários aplicáveis, tipo e modo de <i>feedback</i> e comunicação inerente ao dispositivo	46
4.1.2 - SmarTraffic: Descrição de funcionamento	47
4.2 - SmarTraffic: Arquitetura lógica	48
4.2.1 - Módulo de comunicação	48
4.2.2 - Módulo de lógica e tratamento de dados.....	49
4.3 - SmarTraffic: Primeira solução para a Arquitetura Física	55
4.3.1 - Módulo de comunicação	55
4.3.2 - Módulo de lógica e tratamento de dados.....	57
4.4 - SmarTraffic: Segunda solução para a Arquitetura Física	59
4.5 - SmarTraffic: Solução final para a arquitetura física	59
4.6 - Resumo	60
Capítulo 5	61
SmarTraffic: Análise funcional, de eficácia e custo do equipamento	61
5.1 - SmarTraffic: Identificação dos diferentes segmentos englobados pelo equipamento.....	61
5.1.1 - Segmento de clientes	61
5.1.2 - Segmento de aparelhos domiciliários	62
5.2 - SmarTraffic: Custo estimado do equipamento	63
5.3 - SmarTraffic: Análise comparativa de funcionalidades	66
5.4 - SmarTraffic: Possível eficácia do equipamento	68
5.5 - Resumo	69
Capítulo 6	71
Conclusões e Possíveis Trabalhos Futuros	71
6.1 - Conclusões	71
6.2 - Possibilidades de Trabalho Futuro	73

Lista de figuras

Figura 2–1 - As tecnologias de comunicação mais usadas num sistema de telecontagem [16].	10
Figura 2–2 - Estado do desenvolvimento dos projetos de medição avançada e redes inteligentes na Europa, África, Oceânia e Ásia [26].	12
Figura 2–3 - Estado do desenvolvimento dos projetos de medição avançada e redes inteligentes no continente Americano [26].	12
Figura 2–4 - Primeiro cenário de implementação de contadores inteligentes no território nacional [23].	14
Figura 2–5 - Segundo cenário da implementação de contadores inteligentes em território nacional [23].	14
Figura 2–6 - Mapa das funcionalidades atuais e futuras da EB [5].	18
Figura 2–7 - Aspeto físico do DTC [37].	19
Figura 2–8 - Âmbito do projeto InovGrid [8].	19
Figura 2–9 - Arquitetura técnica associada à InovGrid [8].	21
Figura 2–10 - Caracterização sintetizada do funcionamento da rede InovGrid [23].	22
Figura 2–11 - Principais benefícios inerentes à InovGrid, distribuídos por todos os intervenientes da cadeia energética [5].	23
Figura 3–1 - Atual estado das metas propostas pelo Pacote Energia-Clima [44].	26
Figura 3–2 - Setores que potenciam um maior valor de poupança energética [44].	27
Figura 3–3 - Exemplificação sintetizada da estrutura avançada de comunicação a ser instalada no território nacional [24].	31
Figura 3–4 - Apresentação dos diferentes programas de Condicionamento da Procura de forma sintetizada [57].	37
Figura 3–5 - Os benefícios inerentes aos Programas de Condicionamento da Procura [57].	38
Figura 3–6 - Custos associados aos Programas de Condicionamento da Procura [57].	39

Figura 4–1 - Representação dos possíveis modos de comunicação do módulo <i>Home Area Network</i> (HAN) contido nos contadores inteligentes.	47
Figura 4–2 - Possível esboço físico do dispositivo SmarTraffic.	47
Figura 4–3 - Forma de comunicação entre o contador inteligente e o dispositivo SmarTraffic.	48
Figura 4–4 - Caracterização do sentido e da forma de comunicação feito entre o contador inteligente e o dispositivo SmarTraffic.	48
Figura 4–5 - Diagrama respeitante à lógica de funcionamento do dispositivo SmarTraffic. ...	51
Figura 4–6 - Diagrama respeitante ao bloco de estruturamento de dados do dispositivo SmarTraffic.	52
Figura 4–7 - Aspeto físico do módulo sem-fios Xbee 802.15.4 da <i>Digi International</i> [78].	57
Figura 4–8 - Aspeto físico do microcontrolador PIC24FJ128GA010 da <i>Microship Technology</i> [82].	58
Figura 4–9 - Aspeto físico do SoC EM351 da <i>Silicon Labs</i> [87].	59
Figura 5–1 - Peso dos diferentes setores da sociedade no consumo global de energia [90]. ..	62
Figura 5–2 - Repartição dos consumos de eletricidade pelos diferentes usos finais no setor residencial [90].	63
Figura 5–3 - Diagrama com os diferentes fluxos de informação entre os principais constituintes do ST.	64
Figura 5–4 - Possível Aspeto físico do modelo de LCD proposto [91].	64
Figura 5–5 - Aspeto físico da <i>Energy Orb</i> , da empresa <i>Ambient</i> [92].	66
Figura 5–6 - Aspeto físico do <i>Energy Joule</i> , da empresa <i>Ambient</i> [92].	66

Lista de tabelas

Tabela 2–1 - Progressos da rede elétrica atual, permitidos pela sua transformação numa rede inteligente [2].	7
Tabela 2–2 - Os benefícios inerentes à introdução das redes inteligentes, nomeadamente na relação mercado e consumidor [2, 8, 26].	11
Tabela 2–3 - Sistematização dos custos e benefícios associados ao plano de substituição de contadores [16].	16
Tabela 3–1 - Demonstração dos resultado obtidos da revisão de 38 estudos associados ao <i>feedback</i> de energia ao consumidor [69].	44
Tabela 4–1 - Comparação dos dois tipos de comunicação usados no caso de estudo [77].	56
Tabela 4–2 - Preço da primeira solução referente à arquitetura física do dispositivo SmarTraffic [88, 89].	60
Tabela 4–3 - Preço da segunda solução referente à arquitetura física do dispositivo SmarTraffic [90].	60
Tabela 5–1 - Custos dos principais constituintes que fazem parte dos três módulos do SmarTraffic.	65

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
SEE	Sistemas Elétricos de Energia
HAN	Home Area Network
TAN	Transformer Area Network
LAN	Local Area Network
WAN	Wide Area Network
AMR	Automatic Meter Reading
AMI	Advanced Metering Infrastructure
AMM	Automatic Meter Management
UART	Universal Asynchronous Receiver/ Transmitter
USB	Universal Serial Bus
LCD	Liquid Crystal Display
PT	Posto de Transformação
EB	Energy Box
DTC	Distribution Transformer Controller
LED	Light Emitting Diode
MT	Média Tensão
BT	Baixa Tensão
GPRS	General Packet Radio Service
PLC	Power Line Communication
GSM	Global System for Mobile Communications
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
SoC	System on Chip

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo serão caracterizadas as principais transformações que se têm desenrolado no setor elétrico, mais concretamente na rede de distribuição de eletricidade e nos mercados energéticos.

O enquadramento do tema, no futuro do setor elétrico e os objetivos associados a esta dissertação, serão discriminados na secção 1.2.

Por fim, na secção 1.3, será apresentada e explicada a estrutura da organização do conteúdo presente neste trabalho.

1.1 - As principais transformações do setor elétrico

Ao longo de décadas, as redes de eletricidade têm promovido com grande sucesso uma ligação vital entre os produtores e consumidores de energia. A arquitetura envolvida nas mesmas, foi desenvolvida a pensar nas constantes necessidades de aumento da capacidade da rede devido ao aumento crescente do consumo, onde durante anos predominaram as tecnologias de geração de energia baseadas em carbono [1].

Atualmente, devido aos diferentes desafios ligados à rede elétrica, nomeadamente a necessidade de uma maior sustentabilidade energética, a preocupação com as questões ambientais e a necessidade da modernização da rede de distribuição, torna-se essencial uma transformação tanto a nível do funcionamento como da estrutura do setor elétrico mundial [2]. Estes desafios têm uma importância e um impacto significativo nas redes de distribuição de eletricidade, sendo necessário proceder-se a uma modernização das mesmas, de forma a se poder integrar no sistema elétrico cada vez mais fontes de energia renovável, poder-se aproveitar todo o potencial ligado à microgeração, melhorar a eficiência energética das mesmas e promover uma participação cada vez mais ativa dos consumidores no seu próprio consumo, com a finalidade de fomentar uma maior consciencialização dos mesmos em relação ao seu gasto energético. Neste contexto de mudança, as redes inteligentes de eletricidade são apontadas então, como um bem fundamental para colmatar as novas necessidades do setor elétrico [3].

As redes inteligentes irão permitir uma geração, distribuição e consumo de energia mais fiável, eficiente, seguro e económico, através da integração de infraestruturas de

2 Introdução

comunicação e de tecnologias de eletrônica avançada presentes na sua constituição, que irão ter um papel importante tanto na gestão, controle e otimização dos diferentes dispositivos funcionais, inteligentes e sistemas presentes nas redes inteligentes [4]. Uma das principais infraestruturas contidas nestas novas redes serão os sistemas inteligentes de contagem, sendo o contador inteligente uma peça fundamental. Estes sistemas inteligentes de contagem servirão de suporte à gestão técnica e comercial dos Sistemas Elétricos de Energia (SEE) no futuro [5].

Os mercados elétricos também se encontram neste momento a sofrer transformações estruturais, nomeadamente com a adoção do Terceiro Pacote Energético, que prevê uma liberalização e uma desverticalização do setor energético de forma a tornar os mesmos mais competitivos. Porém estas não serão as únicas transformações que se irão efetuar. Como consequência da penetração tecnológica associada às redes inteligentes, é possível a partilha de informação em tempo real, sendo este aspeto apontado como um fator chave para um funcionamento mais eficiente dos mercados energéticos, aparecimento de novas tarifas e serviços energéticos como os programas de Condicionamento da Procura, fornecimento energético mais eficiente e uma maior satisfação dos consumidores [5, 6].

1.2 - Objetivos e enquadramento dos dispositivos domiciliários no setor elétrico

Neste trabalho, pretende-se desenvolver uma ideia de produto que seja incluída no segmento de aparelhos domésticos que vá interagir com os novos contadores inteligentes. Estes contadores vêm incorporados com um módulo de comunicação *Home Area Network* (HAN), que permite o envio de informação relevante presente no contador para uma gama de dispositivos emergentes, chamados de dispositivos domiciliários.

Estes novos dispositivos podem variar em diversos parâmetros, seja na quantidade de informação retirada pelo mesmo ou no tipo e modo como disponibilizam o *feedback* energético ao consumidor.

Os dispositivos domiciliários, têm como utilidade, auxiliar o consumidor doméstico, através do envio de informação diversificada com o objetivo de auxiliar o mesmo com o seu comportamento energético, sendo que, no caso de estudo, o objetivo principal é servir de ponte entre o consumidor e os novos tarifários em que o preço da eletricidade varia ao longo do dia.

Os objetivos principais deste trabalho são os seguintes:

- Abordar e perceber diferentes conceitos, tais como, redes inteligentes, contadores inteligentes, programas de condicionamento da procura e a importância do *feedback* ao consumidor. Onde, todos os conceitos numerados anteriormente estão intimamente relacionados com o desenvolvimento do principal objetivo da dissertação;
- Desenvolver uma ideia de produto que seja acessível tanto economicamente como no *feedback* feito ao consumidor. Neste último, é fundamental que o formato do conteúdo seja presente da forma mais direta e perceptível possível para qualquer segmento de consumidor;

- Identificar e desenvolver a arquitetura física e lógica do dispositivo;
- Demonstrar que a ideia de produto efetivamente provoca poupança energética, com consequente diminuição do valor pago na tarifa elétrica.

Com este trabalho pretende-se desenvolver uma ideia de um produto adaptável às futuras transformações do setor elétrico e também uma formular uma alternativa possível de interação entre os consumidores e os operadores do setor aquando destas transformações.

1.3 - Estrutura da Dissertação

Nesta seção, pretende-se identificar quais as principais fases do trabalho desenvolvido assim como a estrutura escolhida para redigir esta dissertação. Após serem definidos os objetivos e motivação inerentes a este trabalho, é feita a revisão de literatura associada ao mesmo, sendo esta dividida pelos capítulos 2 e 3. No capítulo 2, nomeadamente na secção 2.1, será feita uma revisão das novas redes inteligentes de eletricidade, onde irão ser focados os aspetos associados com a sua constituição, principais funcionalidades e infraestrutura de comunicação e medição. Nesta secção será também feita a cobertura de projetos de redes inteligentes no contexto internacional, sendo por fim verificada qual a atual situação da implementação dos novos contadores inteligentes em território nacional. Na secção 2.2, será feita uma caracterização do principal projeto de redes inteligentes implementado em Portugal Continental, a InovGrid em Évora. Esta caracterização terá em conta as soluções escolhidas para a sua infraestrutura, meios de comunicação, arquitetura técnica e a caracterização do funcionamento da rede. Por fim serão ainda apresentados os principais benefícios para todos os elementos da cadeia energética com a implementação das novas redes inteligentes.

No segundo capítulo de revisão da literatura, mais concretamente no capítulo 3, serão focados diferentes aspetos relacionados com a transformação do setor elétrico no que diz respeito a legislação e novos serviços energéticos, só possíveis com a implementação das redes inteligentes. Na secção 3.1, será feito o levantamento de quais as principais diretivas europeias e nacionais tanto para a obrigatoriedade da transformação das redes elétricas em redes inteligentes assim como uma posterior mudança do próprio funcionamento do mercado elétrico. Na secção 3.2, será feita a análise dos programas de Condicionamento da Procura, fazendo estes parte dos novos serviços energéticos possibilitados pela implementação das redes inteligentes. Nesta secção será feita a definição destes mesmos programas assim como a cobertura dos programas existentes. Por fim, será feita uma análise de custo-benefício inerente aos mesmos programas. Na secção 3.3, será focado o papel do *feedback* de energia no consumidor, onde serão identificados os diferentes tipos e modos de *feedback*, sendo na subsecção 3.3.3, feita uma análise de qual o tipo de *feedback* mais efetivo para o caso de estudo.

A descrição da metodologia para o desenvolvimento do caso de estudo será apresentada no capítulo 4. Na secção 4.1, será feito o desenvolvimento do caso de estudo juntamente com a descrição de funcionamento, onde esse mesmo desenvolvimento é sustentado pela revisão da literatura. A arquitetura lógica do dispositivo será focada na secção 4.2, onde são definidos os requisitos funcionais envolvidos nos diferentes módulos do caso de estudo, nomeadamente o módulo de comunicação e o módulo de lógica e tratamento de dados. No que diz respeito ao módulo de comunicação, na subsecção 4.2.1, será identificado o modo de comunicação apropriado para o caso de estudo. Na subsecção 4.2.2, serão identificados os

4 Introdução

blocos de lógica associados ao módulo de lógica e tratamento de dados assim como serão explicados os algoritmos referentes aos dois principais programas de Condicionamento da Procura existentes. Nas secções seguintes, nomeadamente a secção 4.3 e 4.4, serão analisadas duas soluções para a arquitetura física do caso de estudo. Na secção 4.3 será apresentada uma solução constituída por dois elementos, cada um correspondente a cada módulo do caso de estudo. Na secção 4.4, será apresentada uma solução conjunta para a arquitetura física do caso de estudo. Por fim, na secção 4.5, será feita a escolha e a justificação para a mesma entre as duas soluções para arquitetura física final do caso de estudo.

No capítulo 5, será feita uma análise funcional, de custo e de efetividade do caso de estudo, o dispositivo SmarTraffic (ST). Na secção 5.1, será feito um estudo de quais os segmentos de clientes que podem ser abrangidos pelo dispositivo desenvolvido, assim como, quais os eletrodomésticos que poderão interagir de forma mais eficiente com o mesmo. Na secção 5.2, será feita uma estimativa do preço de venda do dispositivo desenvolvido. Será também feita uma comparação das funcionalidades do caso de estudo com dois dispositivos de funcionamento similar, sendo esta feita na secção 5.3. Na secção 5.4, será feita uma cobertura dos projetos até agora executados com o auxílio dos dispositivos de funcionamento similar ao caso de estudo desta dissertação de forma a se poder inferir sobre a possível efetividade do SmarTraffic.

1.4 - Resumo

Este capítulo tem como objetivo identificar as principais transformações que se encontram a ocorrer no setor elétrico em resposta aos vários desafios de que o mesmo enfrenta na atualidade. Na secção 1.2 foram apresentados os objetivos que se pretendem atingir com este trabalho bem como o enquadramento do caso de estudo. Por fim, na secção 1.3, foi identificada e caracterizada a estrutura deste trabalho.

Capítulo 2

Redes e contadores inteligentes: possibilidades, estruturas e implementação

O objetivo deste capítulo consiste na caracterização dos contadores e redes inteligentes. Na secção 2.1, será feita uma análise dos mesmos, onde são caracterizados pontos associados à sua constituição, infraestrutura e os benefícios associados à sua implementação. Será também feita posteriormente uma análise do estado de instalação de contadores e redes inteligentes no contexto internacional e em que estado se encontra a instalação dos contadores inteligentes em território nacional.

Na secção 2.2, será feita a caracterização e análise de toda a estrutura de uma rede inteligente já implementada, a InovGrid em Évora.

2.1 - Redes e contadores inteligentes: Impulsionadores e desafios para uma mudança da infraestrutura elétrica

O setor elétrico é atualmente confrontado com uma série de desafios, que se prendem essencialmente com a necessidade de melhorias na qualidade de serviço e automatização da rede, simultaneamente zelando pelo controlo dos custos inerentes ao investimento na rede elétrica. Além disso, torna-se cada vez mais importante promover a participação ativa dos consumidores no sector elétrico [2, 7]. Sistematizando, podemos afirmar que existe atualmente uma série de fatores que exigem mudanças estruturais na rede de distribuição de eletricidade [2, 8]:

- **Sustentabilidade ambiental** - é necessária a implementação de novas formas de geração de energia, a fim de funcionarem como alternativa aos combustíveis fósseis e

assim preencherem os requisitos que advêm das obrigações ambientais (Protocolo de Quioto);

- **Fiabilidade e qualidade de fornecimento** - uma vez que grande parte dos constituintes das redes de distribuição não garantem o nível de automatização necessário ou em alguns casos encontram-se obsoletos, a capacidade da rede encontra-se limitada, pelo que é necessário proceder-se a uma modernização da mesma;
- **Mercado elétrico europeu** - o aumento da competitividade decretado pela União Europeia implica a existência de mercados de energia altamente competitivos no que diz respeito a preços e a bens de serviços. Estes pontos só podem ser atingidos, a partir de uma mudança de funcionamento da atual rede elétrica;
- **Os direitos dos consumidores** - o cliente deve poder tomar decisões para otimizar o seu consumo energético; para isso, é necessário que tenha acesso à informação sobre os seus consumos, através de *feedback* apropriado por parte dos operadores do setor, assumindo assim um papel mais ativo no mesmo. A título de exemplo, o consumidor em alturas de pico pode ser simultaneamente produtor com recurso microgeração.

Tendo em conta os desafios e necessidades descritos, surgem as redes inteligentes, que são apresentadas como sendo a resposta a um fornecimento energético no futuro mais seguro, fiável e económico [9].

2.1.1 - Redes e contadores inteligentes: Definição

Nesta secção será enunciada a definição tanto de rede, assim como de contador inteligente:

- **Rede Inteligente** - A rede inteligente consiste numa rede elétrica de distribuição automatizada, descentralizada e com um fornecimento inteligente da eletricidade onde os fornecedores e consumidores elétricos se encontram conectados através de uma rede de comunicação bidirecional, capaz de fornecer o mais diverso tipo de informação cliente-consumidor, assim como consumidor-cliente. Estes fluxos de informação bidirecionais são possibilitados pela instalação dos novos contadores inteligentes [4, 10].
- **Contador Inteligente** - Os contadores inteligentes, por sua vez, são dispositivos digitais que permitem trocas de informação, em tempo real, entre consumidores e os operadores do setor. Essa capacidade de envio de informação deve-se ao grande desenvolvimento dos métodos de comunicação atuais, tendo o contador um módulo de comunicação embutido para esse efeito. O tipo de infraestrutura de comunicação bidirecional das redes inteligentes permite saber em tempo real quanto os consumidores estão a consumir com exatidão a cada instante [4, 10]. É também possível o envio remoto de ordens por parte dos operadores do setor para o contador,

como por exemplo proceder-se a uma mudança de potência contratada ou mudar o tipo de tarifário [4, 9, 10, 11, 12].

Na tabela 2-1, é então apresentada uma síntese dos principais progressos que podem ser conseguidos com a implementação das redes inteligentes:

Tabela 2–1 - Progressos da rede elétrica atual, permitidos pela sua transformação numa rede inteligente [2].

	Rede elétrica atual	Rede inteligente
Comunicação	Limitada e unidirecional (tipicamente não é em tempo real)	Bidirecional (em tempo real)
Interação do consumidor	Limitada	Extensiva
Geração	Centralizada	Centralizada e distribuída
Controlo do trânsito de potência	Limitado	Automatizado
Fiabilidade	Manutenção essencialmente reativa	Manutenção automatizada pró-ativa
Restauro do sistema	Manual	Auto restauro
Topologia do sistema	Radial (o trânsito de potência flui de forma unidirecional)	Rede (o trânsito de potência flui de forma bidirecional)

2.1.2 - Redes inteligentes: Constituição e funcionalidades gerais

Os objetivos inerentes ao funcionamento e exploração de uma rede elétrica variam consoante diversos fatores, entre eles, fatores geográficos, fatores climáticos ou fatores de negócio. Segundo a mesma lógica, a tecnologia, aparelhos e sistemas que formam uma rede inteligente não serão sempre idênticos, variando também consoante as características mencionadas anteriormente [13].

Desta forma, é então possível fazer uma identificação dos constituintes físicos que irão permitir um nível de automação acrescido a uma rede inteligente [13]:

- Infraestrutura integrada de comunicação, que permite trocas de informação e de energia em tempo real e de forma bidirecional;

8 Redes e contadores inteligentes: possibilidades, estruturas e implementação

- Aparelhos de medição inteligentes (incluindo a infraestrutura de medição avançada) que grava e comunica informação mais detalhada acerca do uso da energia;
- Sensores e sistemas de monitorização ao longo da rede que mantém o controlo do fluxo de energia no sistema e a performance do mesmo;
- Controlos automáticos que detetam e reparam os problemas da rede e fornecem soluções de autorreparação.

Como foi possível constatar acima, as redes inteligentes são dotadas de um grande suporte tecnológico que irá permitir fornecer uma série de novas funcionalidades às redes elétricas no futuro. Abaixo são descritas as funcionalidades consideradas gerais de uma rede inteligente, justificando também a importância da tecnologia associada no cumprimento das mesmas [13]:

- **Manutenção pró-ativa:** Usando informação em tempo real que se deve à completa cobertura da rede por sensores, é possível antecipar, detetar e responder a problemas que possam ocorrer na rede. Desta forma, a rede inteligente tem a possibilidade de mitigar ou mesmo evitar interrupções melhorando assim a qualidade de serviço;
- **Motivação e envolvimento dos consumidores nas operações de uma rede inteligente:** as redes inteligentes incorporam a possibilidade de aparecimento equipamentos de consumo e de mudança de comportamento nos consumidores através do seu *design*, operação e comunicação. Isto permite um melhor controlo dos consumidores em relação a aparelhos inteligentes, tanto nas habitações como em locais comerciais, interligando sistemas de gestão de energia em edifícios, e permite aos consumidores melhor gerir o seu consumo e reduzir os custos relacionados com o mesmo. A capacidade da comunicação avançada permite aos consumidores terem acesso ao preço da eletricidade em tempo real, incentivos baseados em sinais para a redução de cargas ou sinais para uma redução de emergência de cargas. As comunicações em tempo real e bidirecionais, disponíveis na rede inteligente, irão permitir aos consumidores serem compensados pelos seus esforços em relação à poupança de energia, possibilitando também venda de energia de volta à rede no caso da existência de microgeração;
- **Resistência a ataques:** A informação em tempo real proveniente da rede inteligente permite aos operadores gerir os fluxos de energia de modo a redirecioná-los por percursos alternativos que garantam o serviço nas zonas afetadas;
- **Acomodação de todas as opções de geração e armazenamento de energia:** A interligação de várias fontes de geração de energia distribuída permite aos consumidores residenciais, comerciais e industriais produzirem eletricidade que em excesso pode ser vendida à rede. Este fator melhora a fiabilidade e a qualidade de fornecimento da energia, pode permitir reduzir o preço da eletricidade devido a esta

ser derivada de fontes renováveis ou microgeração e aumenta as escolhas do consumidor;

- **Permite uma maior eficiência:** A rede inteligente possibilita a minimização dos custos de operação e de manutenção da rede. A otimização dos fluxos energéticos, por sua vez, permite reduzir os desperdícios energéticos e maximizar o uso de recursos energéticos de baixo custo. A harmonização da distribuição local com fluxos de energia inter-regionais na rede de transporte reduz os congestionamentos e pontos de estrangulamento da rede.

A tecnologia e funcionalidades descritas acima permitem chegar à conclusão que a rede elétrica exigida para o futuro será uma rede mais flexível e distribuída, mais inteligente, mais controlável e melhor protegida do que a rede elétrica atual [14].

2.1.3 - Redes inteligentes: Infraestrutura de medição e comunicação

As tecnologias de medição e comunicação de redes inteligentes emergiram de tentativas anteriores de uso de controlo eletrónico, de medição e de monitorização na rede elétrica. No início dos anos 80, a tecnologia denominada *Automatic Meter Reading* (AMR) começou a ser usada de forma a monitorizar cargas de grandes consumidores, e desenvolveu-se posteriormente nos anos 90 para *Advanced Metering Infrastructure* (AMI), onde parte central desta infraestrutura de comunicação e medição são os contadores inteligentes (*Smart Meters*) [5, 15].

Numa primeira abordagem às redes inteligentes, era focada apenas a telecontagem da eletricidade, AMR. A tecnologia AMR consiste numa substituição das anteriores leituras manuais por uma leitura remota do consumo para um sistema central. É então uma estrutura de comunicação unidirecional em que permite apenas fluxo de informação do contador para o sistema central. Numa estrutura AMR, não é então possível a alteração remota de parâmetros do contador [16].

Da necessidade de um maior controlo e automatização do processo de leitura e monitorização dos consumos, surge a tecnologia AMI. Este tipo de infraestrutura já contém a capacidade de comunicação bidirecional [15, 16, 17], diferindo da tecnologia AMR na medida em que permite uma gestão remota por parte dos operadores do setor. Os contadores normalmente utilizados num sistema AMI são os contadores inteligentes, sendo estes os responsáveis pela capacidade de comunicação bidirecional do sistema AMI [18].

Através desta sua capacidade de comunicação bidirecional, os contadores inteligentes, oferecem uma série de novas funcionalidades, tanto ao consumidor como aos operadores do setor [15, 19]:

- Permitem fazer a monitorização do consumo elétrico em tempo real;
- Permitem uma melhoria na qualidade de monitorização e notificação de queda de fornecimento de energia;
- Permitem uma maior intervenção do consumidor no setor elétrico, nomeadamente através de programas de Condicionamento da Procura, como por exemplo a aplicação de tarifas de tempo de uso ou tarifas de tempo real;

- Permitem servir de apoio à Microgeração.

No que diz respeito à camada física de comunicação da infraestrutura AMI, existem já algumas alternativas de formas de comunicação a usar. As mais consensuais incidem na tecnologia *Power Line Communication* (PLC), nas tecnologias *General Packet Radio Service* (GPRS) ou *Global System for Mobile Communications* (GSM), ou numa ligação permanente a uma rede *Asymmetric digital subscriber line* (ADSL) [20, 21]. Para muitos especialistas, o meio de comunicação mais apropriado para um sistema AMI, é a tecnologia PLC, devido ao facto de não necessitar de uma linha de comunicação adicional. Isto acontece porque o meio utilizado para partilha de dados, é a linha eléctrica [22].

Na imagem seguinte, são apresentadas de forma genérica quais as tecnologias de telecontagem mais usadas num sistema AMI no processo de telecontagem [16]:

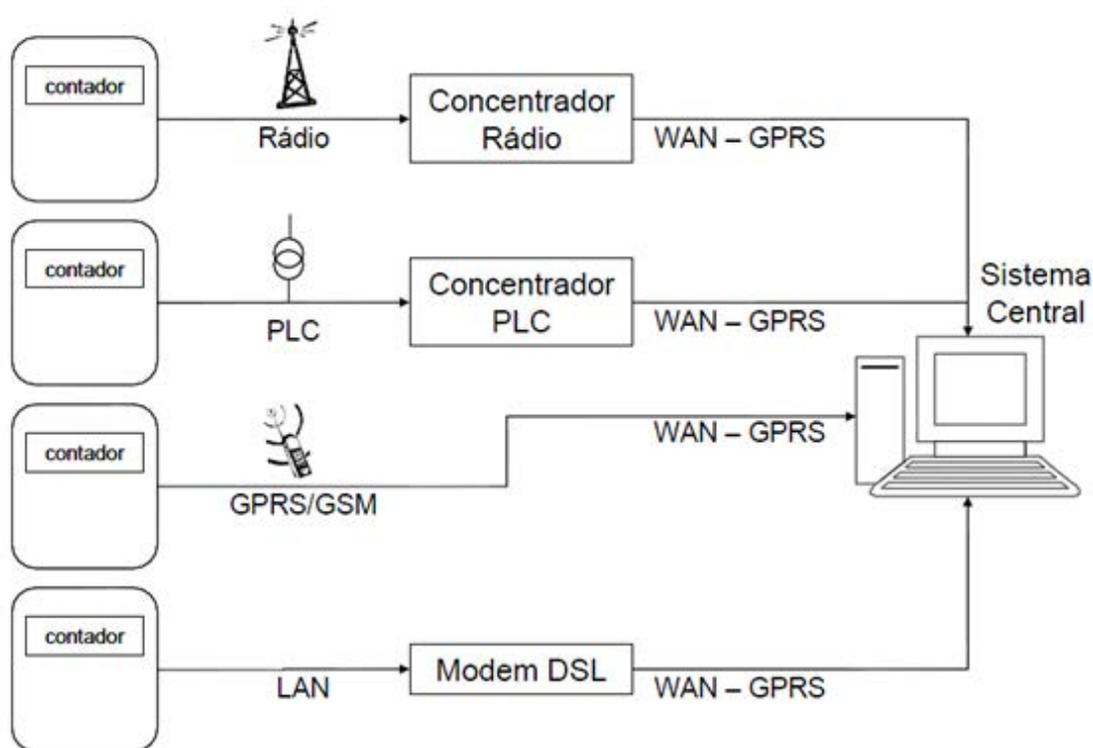


Figura 2–1 - As tecnologias de comunicação mais usadas num sistema de telecontagem [16].

A tecnologia *Automatic Meter Management* (AMM) é a evolução da tecnologia AMI. Esta tecnologia difere da anterior no sentido em que adiciona ao sistema novas utilidades e funcionalidades para o sistema de contagem [16, 23, 24].

2.1.4 - Redes inteligentes: Possíveis benefícios da sua implementação

No que respeita a benefícios de ordem operacional, as novas redes permitem uma maior eficiência operacional através de uma gestão remota dos equipamentos da rede e uma redução dos custos de manutenção da mesma. No que concerne a qualidade de serviço, as melhorias também são significativas devido à capacidade da rede para detetar situações anómalas e permitir um atendimento mais rápido e personalizado ao cliente. Têm ainda como benefício, ser uma rede mais eficiente através da sua capacidade de controlar os fluxos de

potência, minimizando assim as perdas. Por fim, as redes inteligentes favorecem a penetração de energia renovável, funcionam como suporte à microprodução distribuída e a soluções para mobilidade elétrica [25].

Os benefícios para os consumidores estendem-se ainda ao mercado elétrico [25]. As Redes Inteligentes criam condições para que no mercado surjam novos e melhores serviços energéticos.

A tabela 2-2 identifica e sintetiza alguns dos principais benefícios apresentados pelo projeto InovGrid liderado pela EDP, no que diz respeito à relação entre o mercado elétrico e o consumidor:

Tabela 2–2 - Os benefícios inerentes à introdução das redes inteligentes, nomeadamente na relação mercado e consumidor [2, 8, 26].

	Presente	Futuro
Faturação	Baseado em estimativas	Baseado no consumo real
Acesso à informação	Com base na leitura através da internet	Acesso ao perfil de consumo através da internet, <i>displays</i> , PDA
Serviços	As alterações simples só podem ser realizadas no local	As alterações contratuais são feitas remotamente
Tarifários	Tarifa simples, bi-horária e tri-horária	Tarifários mais flexíveis (tarifas de tempo de uso e tarifas em tempo real)

2.1.5 - Redes inteligentes: Atividade de implementação no contexto internacional

No contexto internacional, existem já diversos projetos-piloto de redes inteligentes. Alguns já foram implementados, outros ainda estão em fase de implementação, outros em desenvolvimentos na área de redes inteligentes e, por fim, alguns ainda em fase de implementação de sistemas AMR e AMI.

Nas duas figuras seguintes, são mostrados os projetos implementados e em desenvolvimento de sistemas AMR, AMI e redes inteligentes, numa perspetiva internacional [26].



Figura 2–2 - Estado do desenvolvimento dos projetos de medição avançada e redes inteligentes na Europa, África, Oceânia e Ásia [26].



Figura 2–3 - Estado do desenvolvimento dos projetos de medição avançada e redes inteligentes no continente Americano [26].

Dos vários projetos internacionais de redes inteligentes, podem-se destacar os seguintes:

- **Enel:** O mais recente e maior exemplo de instalação de uma rede inteligente no mundo foi instalado em Itália pela Enel. O projeto denominado de *Telegestore* foi

considerado extremamente invulgar porque a companhia desenhou e fabricou os seus próprios contadores; atuaram como integradores do seu próprio sistema e desenvolveram o seu próprio *software*. Este projeto abrange atualmente cerca de 32 milhões de consumidores [27]. O projeto Telegestore proporciona uma poupança anual de cerca de 500 milhões de euros, tendo o projeto custado na totalidade cerca de 2.1 biliões de euros [28]. A Enel está ainda a lançar em Espanha, juntamente com a Endesa, outro projeto de uma rede inteligente adaptando o Telegestore à realidade espanhola. Sublinhe-se também que a Endesa está atualmente a instalar cerca de 13 milhões de contadores inteligentes pelos seus consumidores [27];

- **Duke Energy:** A Duke Energy pretende investir mais de 1 bilião de dólares na tecnologia de redes inteligentes, sendo que a maior parte do investimento irá ocorrer na Carolina do Norte e do Sul e no Ohio. Além de neste momento já estar a decorrer a introdução de cerca de 700 mil contadores inteligentes, a *Duke* tem uma das mais robustas infraestruturas de comunicação da indústria, sendo que a mesma suporta transmissão de dados bidirecionais via *Radio frequency* (RF), PLC e WI-FI [29, 30];
- **Austin Energy:** A *Austin Energy* tem um dos programas de redes inteligentes mais antigos em funcionamento nos Estados Unidos. Esta empresa tem trabalhado nesta área desde 2003, quando primariamente substituiu cerca de 1/3 dos contadores normais por contadores inteligentes que comunicam por intermédio de uma rede *wireless*. O seu projeto está atualmente na sua versão 2.0 onde inclui o controlo remoto de cerca de 86 mil termóstatos para controlo da temperatura ambiente em habitações. Em 2009, atingiram uma taxa de 100 por cento de penetração de contadores inteligentes, representado cerca de 500 mil aparelhos controlados em tempo real, servindo cerca de 1 milhão de consumidores [30, 31, 32].

2.1.6 - Contadores inteligentes: Implementação no território nacional

Atualmente, os contadores eletromecânicos ainda são os mais utilizados no território nacional. A necessidade de avaliar a implementação de sistemas de contadores inteligentes assumiu grande prioridade com a publicação de diretivas europeias sobre eficiência energética, mais concretamente com as diretivas 2009/72/CE e 2009/73/CE. Estas visam estabelecer regras comuns, tanto para o mercado interno de eletricidade como para o mercado de gás natural [24].

A diretiva 2009/72/CE, relacionada com o mercado interno de eletricidade obriga os Estados-Membros a fazerem uma avaliação da implementação de sistemas de contadores inteligentes. Se, a partir desse estudo, se comprovar que a instalação dos mesmos é benéfica para os consumidores, então pelo menos 80% dos mesmos devem vir a estar equipados com sistemas de contadores inteligentes até 2020 [24].

Neste sentido, a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) estipulou dois cenários de substituição dos contadores (*roll-out*), tendo sido analisadas duas alternativas [23]:

14 Redes e contadores inteligentes: possibilidades, estruturas e implementação

- Início do *roll-out* em 2016, atingindo 80% dos contadores em 2020, altura em que termina o *roll-out*. A evolução neste cenário, que se encontra apresentada na figura 2-4, foi considerada linear no número de contadores inteligentes instalados, a que corresponde cerca de 1 milhão de contadores instalados por ano. Esta primeira calendarização definida pela ERSE tem em conta as atuais dificuldades de financiamento da economia;

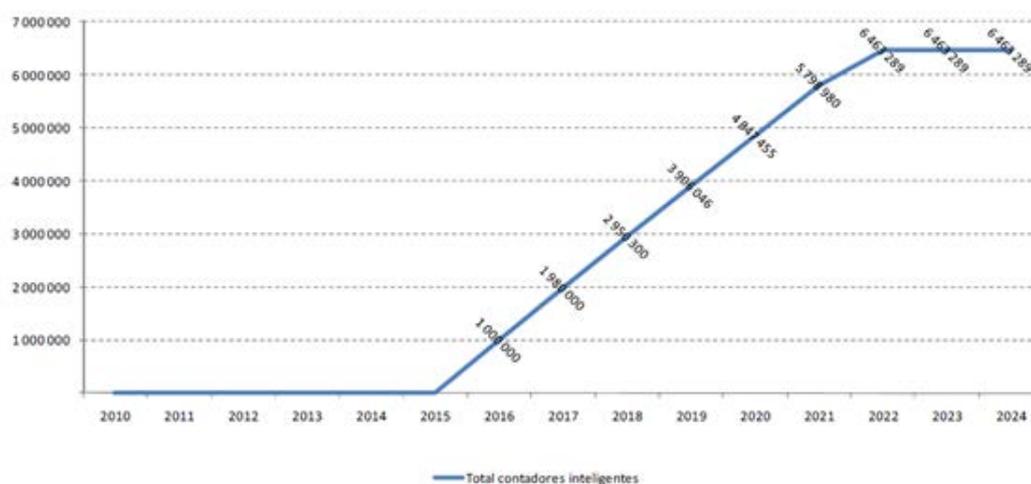


Figura 2—4 - Primeiro cenário de implementação de contadores inteligentes no território nacional [23].

- Início do *roll-out* em 2014, com término em 2022, atingindo 80% dos contadores em 2020. Nesta alternativa, apresentada na figura 2-5, a instalação de contadores inteligentes já não é linear mas difere entre valores anuais mínimos de 370 mil contadores e máximos de 900 mil contadores. Esta alternativa proporciona um *roll-out* menos intenso em termos logísticos.

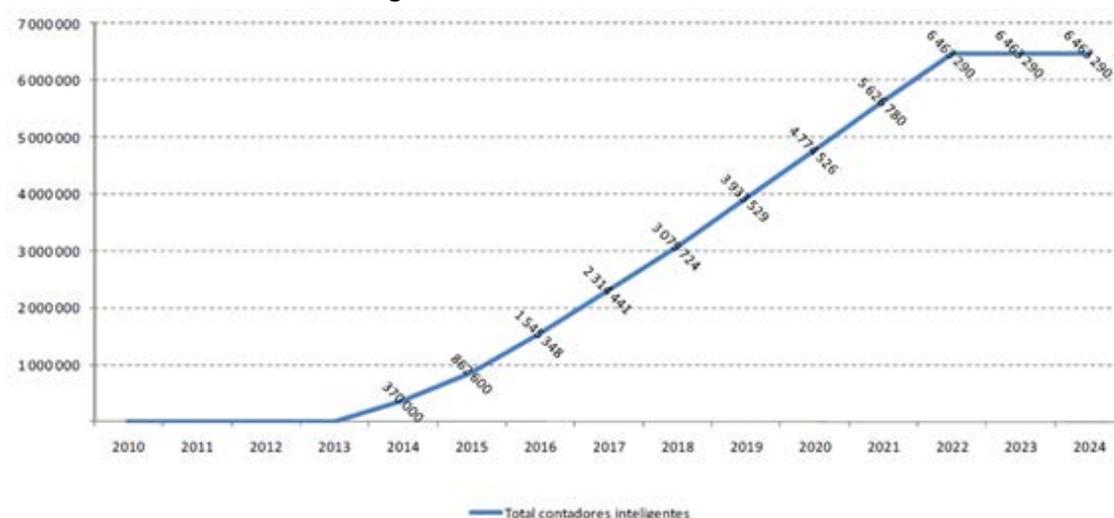


Figura 2—5 - Segundo cenário da implementação de contadores inteligentes em território nacional [23].

O objetivo principal dos dois cenários descritos acima é substituir todos os contadores eletromecânicos dos clientes domésticos e das pequenas empresas. Estes dois segmentos de clientes representam cerca de seis milhões e duzentas e quarenta mil instalações, que correspondem a cerca de 46% do consumo total nacional [16, 23, 24].

O plano de substituição de contadores trata-se então de um estudo completo onde são delineadas as funcionalidades mínimas que os contadores inteligentes terão que ter, definições acerca do projeto-piloto (InovGrid Évora) e análise custo/benefício desta substituição [23, 24].

Os custos estimados para um período de 20 anos após a substituição representam cerca de 1014 milhões de euros, ou seja, cerca de 169 euros por contador. Neste valor, além do contador, estão incluídas as parcelas referentes aos sistemas centrais de processamento de dados e aos custos de exploração. No que respeita a benefícios, estima-se um valor na ordem dos 1164 milhões de euros, correspondendo a 194 euros por contador [16].

A tabela 2-3, cuja informação foi extraída na sua totalidade do estudo feito pela ERSE que data de 2007, sistematiza os benefícios e custos considerados nesta análise económica do plano de substituição de contadores [16]:

Tabela 2—3 - Sistematização dos custos e benefícios associados ao plano de substituição de contadores [16].

Benefícios	Custos
Custos evitados de leitura	Contador (incluindo instalação)
Custos evitados de parametrização local dos Contadores	Sistema de informação comercial e de gestão centralizada de dados
Custos evitados de comunicação de leituras	Custos operacionais dos sistemas informáticos e comunicações
Redução de fraudes	Custos afundados nos contadores substituídos
Receitas de leitura de contadores de outros Serviços públicos (água e gás)	
Custos evitados de gestão de reclamações sobre Faturação	
Custos evitados de refaturação	
Redução de consumos	
Alteração dos hábitos de consumo (transferência de consumos diurnos para o período noturno)	

Contudo, a análise funcional dos contadores está sujeita a restrições técnicas e económicas apresentadas pelas tecnologias disponíveis. Essas restrições foram levantadas a partir de um inquérito realizado pela ERSE junto dos fabricantes de equipamentos de medição. Os novos contadores a instalar deverão ser modulares, para que no caso de ser necessária alguma atualização, expansão ou alteração de alguma função, não seja necessária a substituição do contador completo, mas sim apenas do módulo referente [24].

Neste estudo, a ERSE discrimina também as funcionalidades mínimas que os novos contadores terão de conter [16]:

- **Medição de Energia** - registo do consumo e emissão para a rede de energia ativa, da energia reativa, da potência máxima em cada 15 minutos.

- **Capacidade de armazenamento de informação** - registo dos dados com intervalos de 15 minutos durante um mínimo de 3 meses.
- **Aplicação de tarifas** - agregação das medidas em 6 períodos programáveis; capacidade de efetuar parametrizações do contador local e remotamente; possibilidade de operar o contador em modo de pré-pagamento; possibilidade de oferecer mais do que uma tarifa, por exemplo, conjugando a estrutura das tarifas reguladas de acesso às redes com outras definidas pelo comercializador.
- **Forma de comunicar com o contador** - solução modular, de forma a ser adaptável a diferentes meios de comunicação, tais como GSM, GPRS e PLC. Os protocolos de comunicação devem ser públicos.
- **Operação remota do contador** - possibilidade de mudança remota do ciclo de contagem, opção tarifária e potência contratada; regulação e controlo de potência; possibilidade de interrupção/reativação do fornecimento.
- **Interface com o consumidor** - disponibilização num mostrador digital do contador, dos valores de consumo acumulado para comparação com os valores da fatura e possibilidade de acesso ao valor instantâneo da potência.
- **Qualidade de serviço** - registo do número e duração de interrupções longas de fornecimento (duração superior a 3 minutos) e registo do tempo em que o valor eficaz da tensão está fora dos limites regulamentares.

A substituição dos contadores eletromecânicos no território português pelos novos contadores eletrónicos ou inteligentes é, portanto, um dos processos chave para a implementação das redes inteligentes no território nacional.

2.2 - InovGrid Évora

Em Abril de 2010, Évora foi escolhida para ser a primeira cidade a ter uma rede inteligente em Portugal. Numa fase inicial, o projeto consiste na substituição de cerca de 30 mil contadores até 2012, pelos novos contadores inteligentes, denominados de *Energy Box* (EB) [33].

O projeto está a cargo de um consórcio liderado pela EDP Distribuição com o apoio de parceiros nacionais de produção industrial, tecnologia e investigação: o INESC Porto no desenvolvimento do conceito, e a EFACEC, a LOGICA e a JANZ/CONTAR nos desenvolvimentos dos equipamentos [5, 34, 35].

O projeto InovGrid tem vindo a ser extremamente elogiado, tendo sido selecionado pela Comissão Europeia e pela Eurelectric como o principal caso de estudo entre mais de 260 projetos a nível europeu de redes inteligentes [36].

As razões apresentadas para esta distinção advêm do facto de representar, de forma integrada e completa, os vários benefícios das redes inteligentes, nas suas vertentes mais importantes [36]:

18 Redes e contadores inteligentes: possibilidades, estruturas e implementação

- Relação cliente/consumidor, onde através de um maior fluxo de informação entre o cliente e o consumidor, permite que este último tenha uma participação mais ativa na gestão dos seus consumos e uma maior eficiência no contexto de operação,
- Relação operador e distribuidor de energia elétrica,
- Melhoria da qualidade de serviço,

No que diz respeito à implementação da InovGrid, são destacados dois atores fundamentais: a EB (localizada nas habitações) e o *Distribution Transformer Controller* (DTC), este por sua vez localizado nos postos de transformação (PT) [5, 23].

A EB é o principal instrumento para a implementação da infraestrutura que dará suporte à gestão técnica e comercial da InovGrid. Este contador inteligente substituirá os atuais contadores e será a ponte de ligação entre o consumidor e a InovGrid [5].



Figura 2–6 - Mapa das funcionalidades atuais e futuras da EB [5].

Através da capacidade de comunicação bidirecional da EB é possível a implementação do serviço de telegestão. Este tipo de serviço consiste na contagem detalhada do consumo de energia e em alterações de tarifário ou potência contratada de forma remota por parte dos operadores do setor. Possibilita ainda funções relacionadas com o condicionamento de procura, controlo de microgeração, serviços de valor acrescentado e integração de soluções de domótica. No que diz respeito à microgeração, a EB dará suporte à gestão e controlo (seja a nível local ou a nível de rede de Baixa Tensão, respondendo a pedidos recebidos do DTC), bem como à gestão e controlo local de cargas [5]. O novo contador disponibiliza ainda uma porta de comunicação *Home-Area-Network* (HAN), que permite a comunicação de aparelhos domésticos ao mesmo, com o objetivo de fomentar uma participação mais ativa do consumidor no setor elétrico [23, 24].

O DTC fica localizado no PT. Este opera como um dispositivo inteligente de controlo do PT, procurando a monitorização de defeitos e controlo de iluminação pública [5].



Figura 2—7 - Aspeto físico do DTC [37].

O DTC tem ainda um papel fundamental no controlo e gestão avançada da geração distribuída e da rede de distribuição através da gestão das EB's. Possibilita ainda a medição do balanço energético, monitorização do desequilíbrio de cargas, monitorização de sobrecarga do transformador presente no PT, análise da qualidade de energia e monitorização e notificação de defeitos. Devido ao seu conceito modular e expansível, permite a introdução faseada de novas funcionalidades à medida que se tornam necessárias [5].

Na fase inicial do projeto, as funcionalidades do DTC dependem do tipo de PT onde este é instalado. As funções iniciais previstas incluem a responsabilidade de gerir a operação da rede em ilha, através da exploração da capacidade de geração existente na rede de baixa tensão desde que disponível. Numa fase avançada do projeto, serão implementadas funções de reposição automática de serviço, de autorreparo e gestão da microgeração [5].

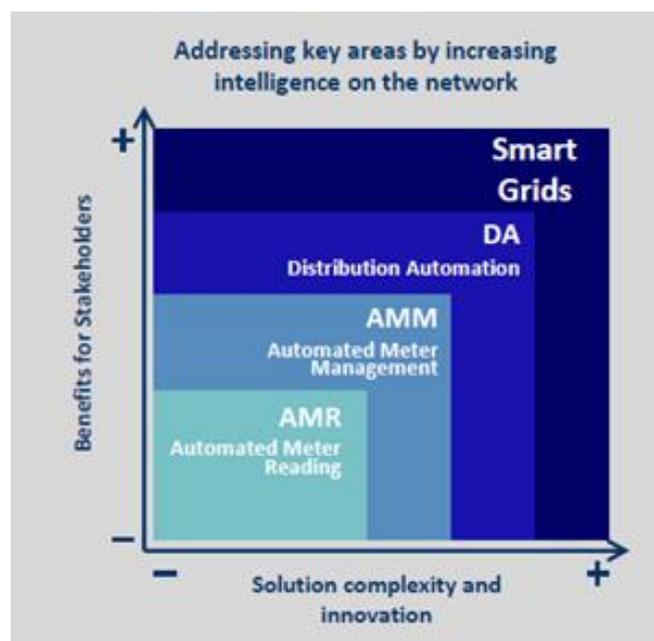


Figura 2—8 - Âmbito do projeto InovGrid [8].

2.2.1 - InovGrid: Infraestrutura e meios de comunicação

O papel das comunicações nas redes inteligentes é de uma importância fundamental, visto disponibilizarem todo o suporte de infraestrutura às diversas funcionalidades e serviços. A infraestrutura de comunicação da InovGrid divide-se nas seguintes redes [5]:

- **Wide Area Network (WAN)** - Interliga os Sistemas de Informação *supervisory control and data acquisition* (SCADA)/ *data management system* (DMS) com o DTC;
- **Transformer Area Network (TAN)** - Interliga o DTC e os restantes dispositivos eletrónicos inteligentes (IED) existentes no PT;
- **Local Area Network (LAN)** - Interliga o DTC e as EB's;
- **Home Area Network (HAN)** - Interliga a EB com dispositivos instalados em casa do consumidor/produzidor.

Na implementação do projeto, foi escolhida a tecnologia de comunicação *Power Line Communication* (PLC DCSK) e *General Packet Radio Service* (GPRS). Uma vez que as tecnologias de comunicação estão em constante evolução, os produtos desenvolvidos no projeto InovGrid, foram concebidos de forma modular para permitirem a alteração da tecnologia de comunicações sem ser necessário substituir todo o equipamento [5].

No estudo feito pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), relacionado com a avaliação da implementação de contadores inteligentes em território nacional, é especificado que o módulo HAN poderá ser adicionada aos contadores ainda não instalados, como módulo de comunicação *wireless* [23, 24]. É referido inclusive que a junção de um módulo *wireless* durante a fase de construção não encarecerá muito o custo dos novos contadores. Em outros projetos-piloto de sistemas de redes inteligentes, de cariz internacional, inicialmente a extração de dados era feita por cabo, sendo posteriormente usado um módulo de comunicação *wireless* para o mesmo efeito [38]. A EFACEC referencia as tecnologias de comunicação sem-fios, Wi-Fi e Zigbee como as possíveis soluções para uma rede do tipo HAN [8].

2.2.2 - InovGrid: Arquitetura técnica

A arquitetura técnica baseia-se numa arquitetura multinível, capaz de gerir simultaneamente, de forma separada ou integrada, a informação técnica e comercial. Os componentes definidos para a fase 1 estão representados na figura 2-9 [5].

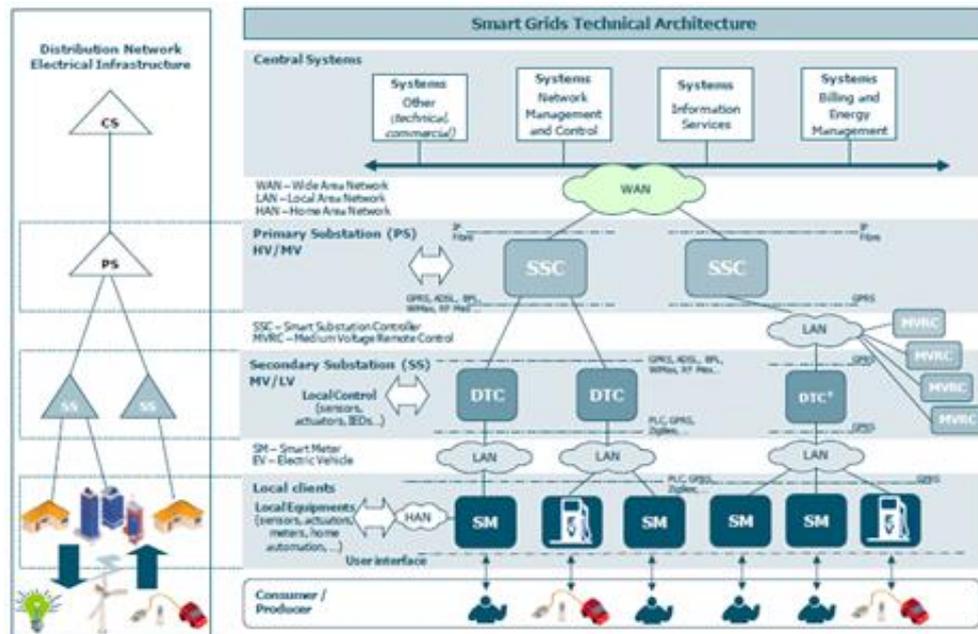


Figura 2–9 - Arquitetura técnica associada à InovGrid [8].

De uma forma global, a arquitetura da InovGrid encontra-se dividida em 3 níveis [5]:

- **Nível do produtor / consumidor** - Neste nível encontram-se as EB's, que implementam as funções de telecontagem de energia e também a gestão de energia doméstica, incluindo o controlo da microgeração;
- **Nível da subestação Média Tensão (MT)/Baixa Tensão (BT)** - Neste nível encontra-se o DTC, com funções de concentração de informação, gestão das EB's e ainda a monitorização, controlo e automação do PT;
- **Nível de controlo e gestão central** - Neste nível é realizada a agregação da informação comercial e de gestão de energia, sendo ainda implementado o controlo operacional da rede.

Tendo em vista as possibilidades existentes do ponto de vista das tecnologias e protocolos de comunicação, foi feita uma avaliação das infraestruturas existentes de forma a fazer-se uma escolha adequada ao tipo e quantidade de tráfego previsto entre os diferentes níveis de arquitetura, bem como aos níveis de robustez necessários [5].

A solução encontrada baseia-se em protocolos *standard*, abertos e interoperáveis de forma a garantir compatibilidade, a evolução e o controlo do risco inerente a uma instalação em larga escala [5].

Atualmente, o sistema já conta com cerca de 30 mil EB's e 340 DTC's. A iluminação pública encontra-se incluída no projeto, tendo sido testadas e posteriormente escolhidas para instalação as tecnologias de comunicação PLC DCSK e GPRS [23, 24].

2.2.3 - InovGrid: Caracterização do funcionamento da rede

No que diz respeito ao funcionamento da rede, tudo se inicia nas EB's. Os contadores inteligentes fazem uma leitura de uma série de dados relacionados com cada consumidor. A

informação recolhida pelas EB's é enviada via PLC para o DTC, que disponibiliza capacidade de armazenamento da informação relativa às várias EB's, sendo que cada DTC tem a capacidade de armazenar informação relativa a mil EB's, com um tempo máximo de armazenamento da informação de seis meses [23, 24].

Quando requisitada, a informação armazenada pelo DTC é enviada por intermédio de uma rede WAN para os sistemas e para o servidor da EDP Distribuição. Em caso de ausência do pedido, permanece guardada no mesmo [23].

O servidor da EDP será responsável pelo armazenamento de informação relacionada com os consumidores, que por sua vez é partilhada com os comercializadores associados a cada consumidor. Posteriormente, a informação relativa aos consumos presente no servidor da EDP Distribuição e relativa à faturação presente no comercializador, é enviada pela Internet de novo para o cliente como forma de *feedback*. [23].

Existe ainda um módulo de comunicação HAN na EB que permite ao consumidor ligar um *display* ou aparelhos inteligentes que tenha em casa, de forma a poder recolher dados presentes na EB [23].

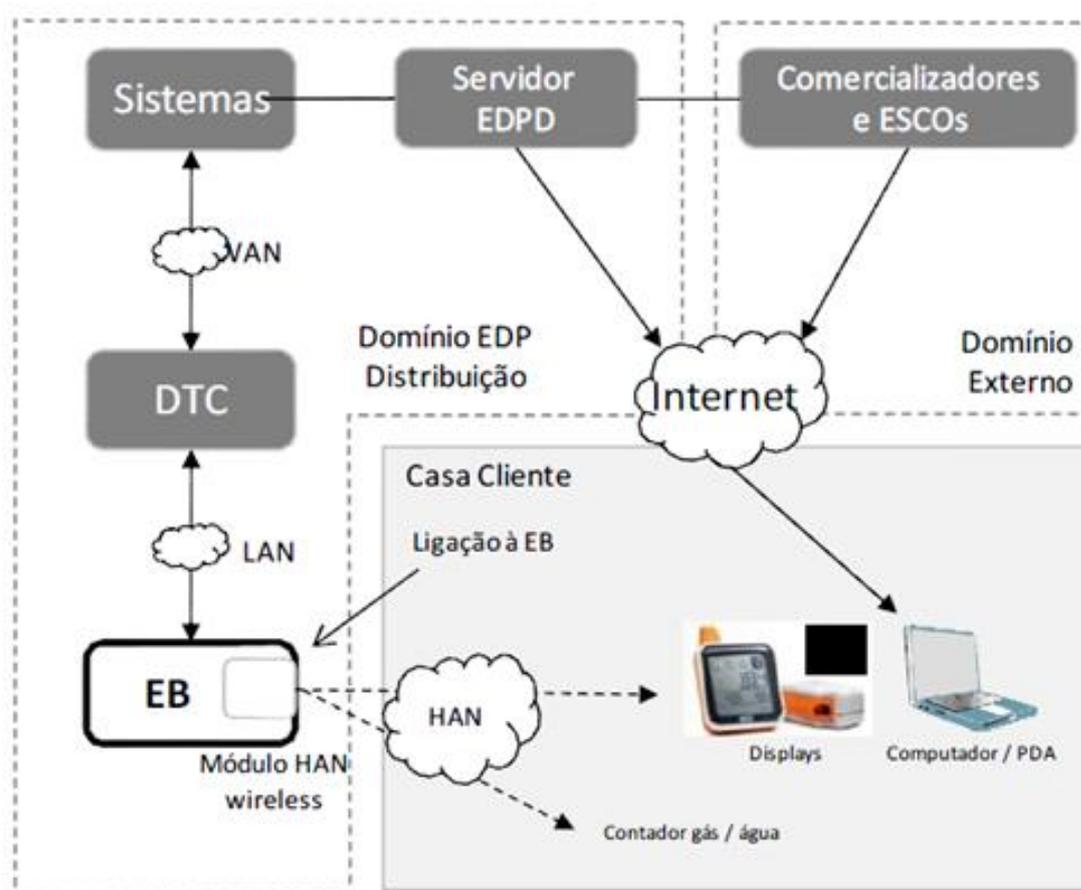


Figura 2–10 - Caracterização sintetizada do funcionamento da rede InovGrid [23].

2.2.4 - InovGrid: Principais benefícios

A InovGrid é representativa do conceito das redes inteligentes de eletricidade, constituindo-se como o primeiro piloto de uma rede inteligente na Península Ibérica. A sua

implementação resultará numa série de benefícios, sendo estes distribuídos por diversas áreas, nomeadamente fornecedor, consumidor/produtor, regulador, economia nacional e distribuidor [5]:

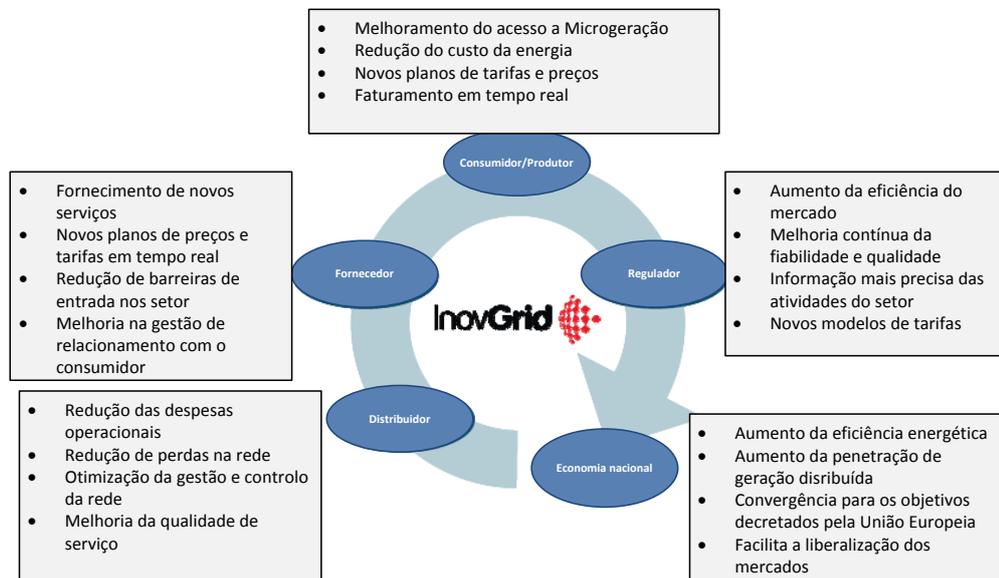


Figura 2—11 - Principais benefícios inerentes à InovGrid, distribuídos por todos os intervenientes da cadeia energética [5].

2.3 - Resumo

A partir das secções deste capítulo, é possível definir os diferentes aspetos associados às redes e contadores inteligentes, nomeadamente a sua estrutura física, a sua infraestrutura de medição e comunicação e os benefícios associados à sua implementação.

É posteriormente possível verificar, de que forma estes diferentes pontos são transpostos para um projeto real, neste caso a InovGrid em Évora.

Capítulo 3

Os impulsionadores para uma participação mais ativa do consumidor no setor elétrico

Este capítulo irá-se focar nas principais alterações que estão a ser promovidas no setor elétrico que irão permitir uma participação cada vez mais ativa do consumidor. Na secção 3.1, será descrita a legislação referente às principais alterações no setor elétrico europeu, nomeadamente nas redes e mercados elétricos a fim de se garantirem as metas de eficiência e sustentabilidade energética estipuladas pela União Europeia.

Na secção 3.2 serão descritos os programas de condicionamento da procura. Estes programas assentam na base das principais alterações do setor referenciadas no capítulo 2 e justificadas na secção 3.1 e fornecem ao consumidor ferramentas para uma posição mais central no processo de decisão do setor elétrico. Por fim, na secção 3.3, é abordada a influência do *feedback* na forma de aprendizagem e consciencialização do consumidor em relação ao seu desperdício energético.

3.1 - A necessidade da transformação e do aumento da eficiência energética no setor elétrico: Metas, Diretivas e Legislação europeia

Durante as últimas décadas, o estilo de vida e o aumento de riqueza exerceram um efeito profundo no setor ambiental e energético. A procura crescente de energia, a subida em flecha dos preços do petróleo, a incerteza de aprovisionamento energético e o aquecimento global reforçam a urgência de tomada de decisões nas áreas da energia e do ambiente [39].

A 17 de Dezembro de 2008, o Parlamento Europeu aprovou o Pacote legislativo Energia-Clima [40]. Este Pacote é constituído por um conjunto de propostas políticas interligadas englobando diversas áreas, tais como: as energias renováveis, os biocombustíveis, o regime de comércio e licença de emissões, a partilha de esforços na redução dos gases de efeito de

estufa em setores não abrangidos pelo regime de comércio e licenças de emissões, a captura e armazenamento de carbono, a redução de emissões de carbono dos automóveis e a eficiência energética [41].

O plano de ação no que diz respeito às metas quantitativas para este Pacote legislativo, também conhecido pelo objetivo “20-20-20”, pode ser resumido a 4 objetivos fulcrais a serem atingidos até 2020 [42]:

- A redução de 20% das emissões de gases de efeito de estufa (em comparação com os níveis de 1990);
- O aumento de 20% da cota de energias renováveis no consumo de energia;
- O aumento de 20% no valor de poupança energética;
- O aumento de 10% de biocombustíveis para o setor dos transportes.

No entanto, segundo as mais recentes estimativas da Comissão Europeia que têm em conta as medidas introduzidas a nível nacional e europeu até Dezembro de 2009, verificou-se que a este ritmo, o valor de poupança energética atingida em 2020 será de cerca de 9%, ficando a metade do valor esperado [43].

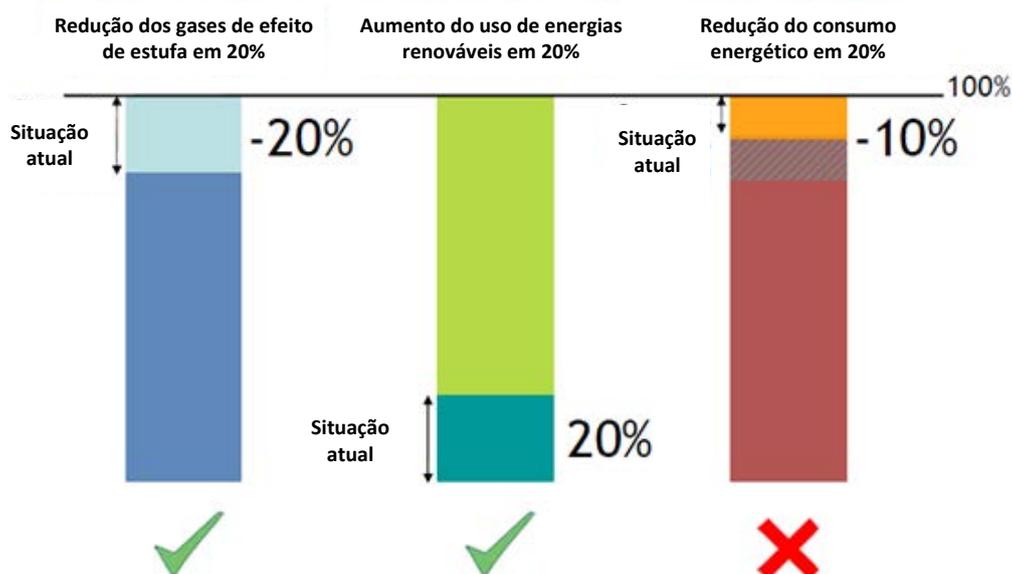


Figura 3–1 - Atual estado das metas propostas pelo Pacote Energia-Clima [44].

Por consequência da estimativa verificada na figura 3-1, a 8 de Março de 2011 foi elaborado pela Comissão Europeia, um novo e mais abrangente Plano de Eficiência Energética [45]. Este novo Plano consiste no seu grosso, em medidas que permitem obter poupanças adicionais no que diz respeito ao aprovisionamento e utilização da energia, identificando ainda os setores que podem oferecer maior potencial de poupança energética, sendo estes respetivamente: os imóveis de habitação, os transportes e o setor terciário [43].

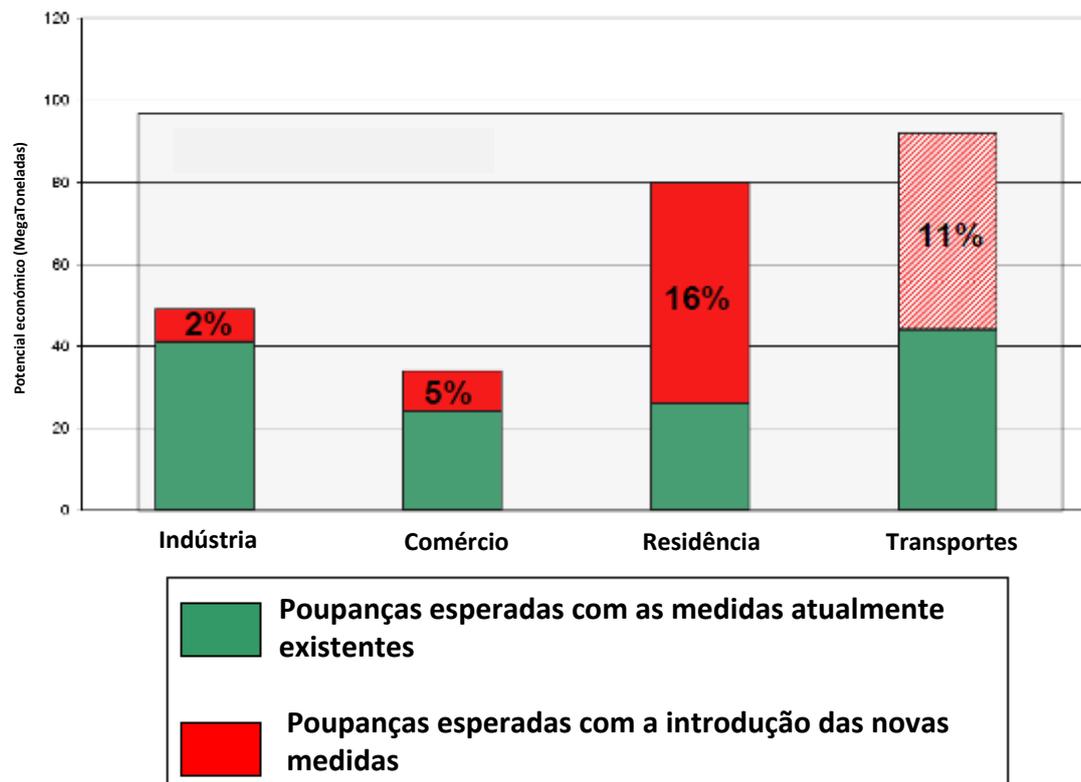


Figura 3—2 - Setores que potenciam um maior valor de poupança energética [44].

O impacto quantitativo das medidas já existentes e das novas medidas introduzidas pelo novo Plano para os consumidores, pode vir a refletir-se numa poupança financeira de cerca de 1000 euros anuais por agregado familiar, a possibilidade de criação de cerca de dois milhões de postos de trabalho e uma melhoria da competitividade na Europa [43, 44].

O novo Plano de eficiência energética traça ainda duas linhas principais a serem seguidas de forma a se atingir uma maior poupança energética por parte dos consumidores ou a nível domiciliário [45]:

- **Promover aparelhos eficientes em termos de energia e de recursos** - um melhor desempenho dos produtos ligados ao aquecimento, refrigeração, ventilação de edifícios, bem como a melhoria do desempenho dos mesmos, são uma das formas mais concretas através das quais a política de eficiência energética pode beneficiar o orçamento das famílias. As normas em matéria de eficiência da conceção ecológica e rotulagem energética já adotadas para os eletrodomésticos proporcionaram poupanças de energia consideráveis para os consumidores e perspectivas comerciais para os fabricantes europeus de produtos de elevada qualidade.
- **Dotar os consumidores de novas tecnologias** - de acordo com a legislação em vigor, os consumidores finais devem ser frequentemente informados do seu consumo energético em tempo real, para que através de aparelhos de medição individuais, possam regular o seu consumo de energia elétrica. Para já, os estados membros são

obrigados a implantar os novos contadores elétricos inteligentes, em pelo menos, 80% dos seus consumidores finais, até 2020, na condição de uma análise de custo-benefício positiva. Estes contadores e posteriormente, as redes inteligentes, serão a espinha dorsal dos aparelhos inteligentes, permitindo ainda o aparecimento de novos serviços, tais como, tarifas desagregadas e exatas, novos tipos de tarifários e aparecimento de dispositivos domiciliários interoperáveis com os mesmos.

As redes e contadores inteligentes, abordados no último parágrafo, são vistos como o mais importante denominador comum para o estabelecimento das metas propostas pelo Pacote Energia-Clima. Assim, a reconfiguração da rede elétrica europeia numa rede inteligente é vista como essencial e imperativa para o cumprimento destas mesmas metas. Porém, as mudanças nas infraestruturas elétricas, não são as únicas alterações necessárias de ser implementadas, é igualmente importante, fomentar a mudança do comportamento do consumidor em relação ao seu consumo energético [46].

Os contadores inteligentes são então considerados como uma importante base para uma educação por parte do consumidor em relação ao seu consumo energético, como um importante instrumento que contribui para uma participação cada vez mais ativa do consumidor no setor elétrico e como um incremento essencial para se poderem atingir verdadeiros valores de poupança energética no contexto doméstico [46].

3.1.1 - Redes e Contadores inteligentes: Diretivas Europeias

A rede elétrica e os sistemas de medição atuais necessitam de sofrer uma séria transformação. Sem uma modernização destas mesmas infraestruturas, corre-se um sério risco de sofrer um atraso significativo na produção de energia renovável, de se comprometer a segurança das próprias redes, de não se explorar todas as opções em matéria de economia de energia e de eficiência energética e de se abrandar o desenvolvimento do mercado elétrico de energia [47].

As redes inteligentes são então apontadas como peça fundamental para a nova estratégia em prol de um crescimento sustentável, inclusive para a realização dos objetivos propostos pela Comissão em matéria de energia e clima, que são essenciais para o desenvolvimento do mercado interno de energia [46, 47].

Com o intuito de ser aconselhada sobre as orientações políticas e regulamentares que estarão presentes na implementação das redes inteligentes na Europa, a Direção Geral de Energia (DG Ener) formou uma *task-force* no final de 2009. Este organismo é atualmente composto por responsáveis dos governos dos Estados-Membros e especialistas da indústria sobre este tema. Nesse mesmo ano, a *Smart Grid Task-force*, conduziu uma série de reuniões, que culminou na formulação de uma série de ações que se concentram nos seguintes tópicos [47, 48, 49]:

- Elaboração de normas técnicas respeitantes às redes inteligentes;
- Garantia de proteção total dos dados dos consumidores;
- Estabelecimento de uma série de regulamentos que forneçam incentivos à implantação das redes inteligentes;

- Garantia de mudanças no mercado retalhista, nomeadamente um mercado mais aberto e concorrencial que vá de encontro com os interesses do consumidor;
- Apoio constante à inovação em matéria de tecnologias e de sistemas.

Num relatório apresentado ao Conselho Energia de Junho de 2011, a Comissão Europeia, estimou a necessidade de um investimento total de cerca de 200 mil milhões nas infraestruturas energéticas até 2020, onde aproximadamente 140 mil milhões desse investimento é canalizado para redes de transporte de alta tensão e para aplicações de redes inteligentes tanto a nível do transporte assim como da distribuição [50]. Tal facto vem corroborar a importância da alteração e modernização das atuais infraestruturas, assim como verificar a aposta da Comissão Europeia a este novo formato de rede elétrica.

Posteriormente a 12 de Abril de 2012, a comunicação da Comissão Europeia ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões intitulado “Redes Inteligentes: da inovação à implantação”, anunciou uma série de medidas a serem implementadas. Estas medidas focam-se principalmente numa monitorização dos progressos feitos pelos Estados-Membros, no estabelecimento de orientações sobre os principais indicadores de desempenho e de orientações para a definição de metodologia a utilizar pelos mesmos nos seus planos de implantação de sistemas de contadores e redes inteligentes e em análises custo-benefício [51, 52].

No que diz respeito às perspetivas a longo prazo, a Comunicação da Comissão intitulada de “Roteiro de transição para uma economia Hipo carbónica competitiva em 2050”, classifica as redes inteligentes como cruciais para uma futura rede Hipo carbónica, no sentido em que permitem uma racionalização da procura, aumentam a cota de energias renováveis e de produção distribuída e por fim permitem uma eletrificação dos transportes [47].

Porém, de forma a ser possível implementar estas novas redes, torna-se essencial, primariamente existir uma estrutura avançada de medição. Assim, a necessidade de uma avaliação e implementação dos sistemas de contadores inteligentes, assumiu grande prioridade com a publicação da Diretiva 2006/32/CE sobre eficiência energética e mais recentemente com a publicação da diretiva 2009/72/CE. Estas diretivas foram posteriormente transpostas para a legislação nacional através de dois decretos-lei, n.º 78/2011 e n.º 77/2011, ambos de 20 de Junho. Estes dois decretos-lei estabelecem um prazo de entrega por parte da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) de um estudo ao Governo Português até 30 de Junho de 2012 que inclui [24]:

- Uma análise a longo prazo de custo-benefício para o mercado, nomeadamente para operadores de rede, comercializadores e para os consumidores;
- O modelo de medição inteligente mais económico e concordante com a realidade portuguesa e o prazo da sua instalação.

Para se proceder ao desenvolvimento deste estudo, a ERSE recorreu ao apoio de um consultor especializado, a KEMA, que subdividiu o projeto em 8 fases distintas [23, 24]:

- Levantamento da informação sobre a atual situação da atividade de medição de energia elétrica, junto dos operadores de redes;

- Levantamento da informação referente a projetos-piloto de contadores inteligentes desenvolvidos ou em desenvolvimento em Portugal;
- Levantamento de informação e sistematização dos resultados obtidos noutros países seja na realização de projetos-piloto e análise custo-benefício;
- Identificação dos cenários sobre os quais se focarão as avaliações de custo-benefício;
- Caracterização do modelo de análise custo-benefício dos contadores inteligentes;
- Fazer as análises custo-benefício para cada cenário identificado;
- Fazer uma Consulta Pública para angariação de sugestões e comentários;
- Elaboração da versão final do Estudo e envio do mesmo para o Governo.

A Comissão europeia, através da DG Ener, desenvolveu um inquérito junto dos países que já desenvolveram uma análise de custo-benefício, de forma a verificar e normalizar as funcionalidades comuns aos contadores inteligentes instalados em todos os Estados-Membros. O resultado deste inquérito foi um conjunto de 10 funcionalidades consensuais apresentadas no Estudo da ERSE e da KEMA [23, 24]:

- O contador inteligente deve estar equipado com um interface normalizado (porta *Home Area Network* (HAN)) de forma a comunicar dados com outros equipamentos presentes na residência;
- Registo de consumo com uma grande frequência de forma a incentivar a poupança de energia;
- Leituras remotas dos registos dos contadores;
- Contador com capacidade de comunicação bidirecional de forma a se poder fazer manutenção do equipamento e controlo do mesmo;
- Leituras frequentes para os consumidores e operadores das redes;
- Capacidade de suportar diversos tipos de tarifários (múltiplos registos e alteração remota dos períodos tarifários);
- Capacidade para remotamente de ativar ou desativar o fornecimento de energia e de alterar as condições de fornecimento da mesma;
- Comunicação dos dados tem de ser segura;
- Ter a capacidade para prevenir e detetar qualquer tipo de fraude;
- Tem de ser capaz de medir energia ativa e reativa em ambos os sentidos (medição do consumo da instalação e da energia produzida para a rede, caso haja microprodução).

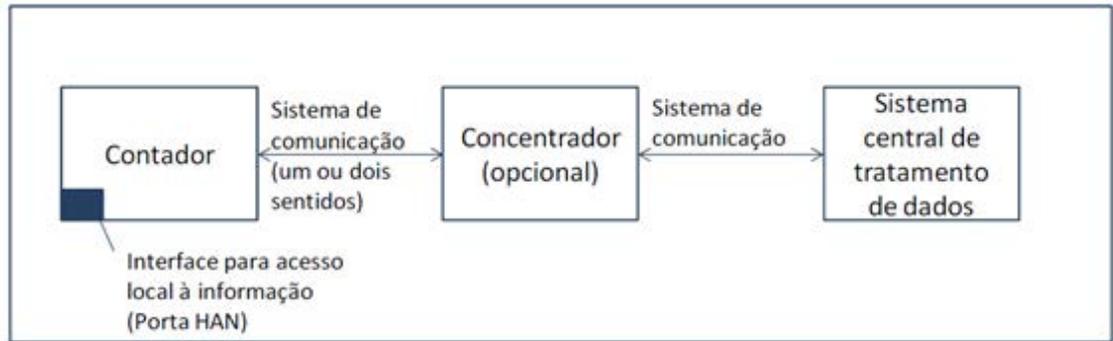


Figura 3—3 - Exemplificação sintetizada da estrutura avançada de comunicação a ser instalada no território nacional [24].

No que diz respeito aos custos de instalação, operação e manutenção das infraestruturas de telecomunicações necessárias à leitura remota do equipamento de medição das instalações, ficará tudo ao encargo dos operadores de redes. A legislação não impede a instalação por conta do cliente, de um segundo equipamento que interaja com o contador uma vez que os dados respetivos são gratuitos por imposição da legislação e podem ser tratados de forma livre pelo consumidor final [23, 24].

3.1.2 - Mercado elétrico Europeu: O porquê de um Terceiro Pacote Legislativo

No que respeita ao enquadramento legislativo dos mercados energéticos da União Europeia, existem três pacotes legislativos que foram e são os pontos de sustentação na criação de um mercado energético único e liberalizado entre os Estados-Membros.

O Primeiro e Segundo Pacote Legislativo foram os primeiros esforços para a construção de um mercado energético liberalizado na União Europeia. Em Dezembro de 1996, é posta em vigor a primeira Diretiva referente aos mercados internos de eletricidade (Diretiva 96/92/CE), estando esta contida no Primeiro Pacote Legislativo. Posteriormente, a 26 de Junho de 2003 a primeira Diretiva foi revogada por uma segunda diretiva respeitante ao Segundo Pacote Legislativo (2003/54/CE) [53].

Apesar de, o Segundo Pacote Legislativo já ter estabelecido uma separação jurídica e contabilística das diversas atividades da rede elétrica, chamada de separação da propriedade (“*ownership unbundling*”), a análise posterior dos diversos mercados, sejam regionais ou nacionais, permitiu verificar que mesmo com os dois primeiros Pacotes Legislativos para a liberalização do mercado interno de eletricidade, continuaram a subsistir situações de integração vertical e de monopólio [54]. A manutenção destas situações contribuiu para uma menor concorrência no mercado energético, uma insuficiência no que respeita a investimento em infraestruturas e a limitação na entrada de novos agentes de mercado [55].

Para colmatar estes problemas estruturais ainda presentes após a implementação dos dois primeiros Pacotes legislativos, foi adotado em Julho de 2009, o terceiro pacote legislativo relativo às regras comuns para os mercados internos de eletricidade tendo o mesmo entrado em vigor a Setembro do mesmo ano através da Diretiva 2009/72/CE. Todos os Estados-Membros tiveram cerca de 18 meses a partir dessa data para transpor este pacote de medidas como lei nacional. [54].

O Terceiro Pacote Legislativo, incide resumidamente em cinco pontos de alteração de funcionamento dos atuais mercados energéticos na União Europeia [55]:

- Aumento da transparência dos mercados retalhistas e um reforço das regras de proteção do consumidor;
- Supervisão regulamentar mais eficaz por parte das autoridades reguladoras nacionais;
- Criação da Agência de Cooperação dos Reguladores da Energia (ACER) para garantir uma cooperação eficaz entre as autoridades reguladoras nacionais e tomar decisões sobre questões transfronteiriças;
- Melhor colaboração transfronteiriça e de investimento, nomeadamente na cooperação e desenvolvimento de códigos comerciais, técnicos e de segurança comuns a todos os mercados da União Europeia;
- Separação ou desverticalização das atividades de produção e fornecimento, da atividade da rede de transporte.

No que diz respeito ao último ponto do parágrafo anterior, o novo Pacote Legislativo, continua ainda a permitir a subsistência de entidades verticalmente integradas, porém oferece três alternativas distintas de separação e controlo das mesmas [54]:

- **Separação total de propriedade** - os agentes envolvidos na produção ou comercialização não têm participação nas operações de transporte;
- **Operador de Rede Independente (ORI)** - O Estado-Membro designa uma empresa externa à empresa verticalmente integrada, que fica responsável pela operação técnica do sistema, gestão de capacidades e controlo total sobre investimentos e manutenção. É o ORI que regula a Rede de Transporte;
- **Operador de Transporte Independente (OTI)** - À semelhança do ORI, o responsável pela atividade de transporte pode ser uma empresa verticalmente integrada, porém o operador não é completamente externo à mesma, neste caso a empresa mantém alguma influência relativamente a investimentos na rede.

Onde, o objetivo final pretendido com as três alternativas apresentadas acima é assegurar a separação ou independência de atividades ligadas ao transporte dos agentes ligados à distribuição e comercialização, proporcionando assim uma quebra na cadeia de propriedade no setor energético. A desverticalização do setor, mesmo que controlada, permite ainda uma concorrência nos mercados grossistas e retalhistas, permite o acesso de terceiros às redes e permite a implementação de uma concorrência de mercado mais eficaz suportada por normas de confidencialidade de tratamento de dados [54].

O terceiro pacote legislativo contempla ainda importantes benefícios aos consumidores. Nestes benefícios, podem ser identificados: a descida do preço da eletricidade, a capacidade de os consumidores poderem mudar de forma rápida e sem custos de comercializador de eletricidade, um sistema de compensação para uma má qualidade de serviço e a proteção dos consumidores mais vulneráveis [54]

Com o aumento da competitividade do mercado, podem ainda surgir ainda novos benefícios, tais como, uma maior oferta ao consumidor, tanto de serviços de energia mais especializados assim como uma maior possibilidade de escolha para o mesmo. [54, 56].

As novas medidas implementadas pelo terceiro pacote legislativo, permitem ainda estimular a poupança e a eficiência em toda a cadeia energética. Existem diversas possibilidades para se atingirem este efeito, entre as quais podem-se identificar [56]:

- A diminuição dos custos de produção. Quanto menor for a quantidade de petróleo e gás usados na produção da eletricidade, mais acessível economicamente esta vai ser. Esta diminuição irá promover competitividade entre os produtores de energia, que por sua vez irá estimular investimentos relacionados com eficiência energética, especialmente numa altura em que o preço dos recursos naturais aumenta cada vez mais, o que faz com que os custos de produção estejam a aumentar quando comparados com os custos operacionais ou de investimento;
- Fornecimento de melhores e mais baratos serviços energéticos, como serviços que obriguem a uma otimização do uso da energia por parte do consumidor ou contratos de fornecimento que se enquadrem às necessidades dos consumidores. Estes serviços procuram reduzir a incerteza na procura, o que implica um uso mais eficiente dos recursos energéticos;
- Redução do consumo energético nas habitações. Assim, a Comissão Europeia propõe que a informação acerca do consumo energético dos consumidores seja cada vez mais atualizada e exata, para que os consumidores domésticos sejam cada vez mais conscientes do seu consumo energético. Permite também tornar os serviços de poupança energética mais interessantes e visíveis para os consumidores e permite ainda aos fornecedores de energia, a criação de contratos mais personalizados para diferentes tipos de clientes.

3.2 - O Condicionamento da Procura

Os serviços públicos de eletricidade e as empresas que operam as redes elétricas têm sido obrigadas legalmente a reestruturar a sua forma de operar no setor elétrico. Tal como foi mostrado na secção anterior, o funcionamento do mercado elétrico, passou de uma forma de operação verticalmente integrada para um sistema de mercado aberto e competitivo [57].

Com esta reestruturação e desregulação do setor, a filosofia de operação do mesmo também foi alterada. Enquanto numa filosofia mais tradicional, o objetivo era fornecer energia para a respetiva procura em todos os instantes, a filosofia de operação mais recente defende que o sistema será mais eficiente se as flutuações na curva da procura forem as mais pequenas possíveis, ou seja, procurar-se um balanço perfeito entre o fornecimento e a carga em tempo real [57].

Este balanço energético é difícil de ser verificado, visto os níveis de fornecimento ou procura puderem mudar rápida e inesperadamente devido a diversas razões. Entre estas,

saídas de serviço de geradores, saídas de serviço de linhas de transporte ou distribuição ou mudanças súbitas de carga.

Assim, segunda esta nova filosofia de operação, um dos recursos mais económicos e efetivos que podem ser usados para o controlo do balanço energético, são os programas de Condicionamento da Procura [57].

3.2.1 - Condicionamento da Procura: Definição

O condicionamento da procura pode ser definido como as mudanças do padrão de consumo energético por parte do consumidor final em resposta à alteração do preço da energia ao longo do tempo. A definição pode-se ainda alargar a, pagamento de incentivos concebidos de forma a induzir um baixo uso de eletricidade em alturas críticas, como por exemplo: alturas de preços altos da eletricidade no mercado grossista ou alturas em que a fiabilidade do sistema se encontra ameaçada. [57, 58, 59, 60, 61, 62].

Historicamente, a perspetiva de aumento da eficiência dos sistemas de operação e a existência de grandes investimentos nas redes elétricas, nomeadamente a crescente introdução de sistemas de medição inteligentes e redes inteligentes, têm sido fatores chave para a implementação deste tipo de programas. [63].

Assim, os programas de Condicionamento da Procura, de forma a serem implementados, necessitam de contadores que consigam gravar o consumo de uma forma mais frequente que os contadores atuais [61]. A justificação é simples: se o consumo irá ser modificado conforme o preço da eletricidade ao longo do dia, então a informação relacionada com o consumo tem de estar disponível no mesmo nível que a informação acerca do preço da eletricidade, para que se possa quantificar o que o consumidor irá pagar pelo seu consumo. A solução para esta situação recai sobre a tecnologia de medição *Advanced Metering Infrastructure* (AMI). E, para que esta possa ser implementada, é necessária a instalação de contadores inteligentes [64]. Existem ainda outros fatores que podem acelerar a penetração destes programas, entre eles, a preocupação com as alterações climáticas e os ativos responsáveis pelo envelhecimento da infraestrutura elétrica [63].

A principal finalidade deste tipo de programas, assim como é explícito na sua própria definição, é provocar uma resposta no consumidor através do uso de certos incentivos. Assim, podem-se definir três hipóteses consensuais de resposta do consumidor aos programas de Condicionamento da Procura [57, 60]:

- O consumidor pode reduzir o seu padrão de consumo de energia durante períodos de pico elétrico quando os preços estão altos. Esta opção provoca uma temporária perda de conforto;
- Os consumidores podem responder aos altos preços da eletricidade, mudando alguma da sua procura da sua hora de pico para uma hora de vazio. Em relação aos clientes industriais esta ação não será vantajosa do ponto de vista em que, as horas de pico podem coincidir com o seu horário de funcionamento laboral;
- Os clientes que têm geração local para suprimir cortes por parte da empresa fornecedora, substituindo a sua fonte de geração por microprodução.

Os programas de Condicionamento da Procura podem ainda ter um papel importante na forma de funcionamento do mercado elétrico [65]. Enquanto os preços da eletricidade variam de forma horária, os consumidores finais geralmente não vêm esta mudança de preços. As tarifas pagas pela maior parte dos clientes são reguladas através de um custo médio da eletricidade durante um mês ou mais. Com tarifas sem flutuações de preços, os consumidores não têm nenhum incentivo para reduzir o seu consumo durante períodos com altos preços no mercado grossista ou com uma grande demanda [59]. Esta desconexão existente, entre os mercados grossista e retalhista de eletricidade resultou numa execução não totalmente eficiente destas duas áreas [65]. Desta forma, a implementação de programas de condicionamento da procura nos mercados elétricos, pode levar a um preenchimento de algumas destas lacunas:

- Permitem a conexão entre os mercados retalhista e grossista de eletricidade;
- Têm o potencial para tornar os consumidores sensíveis às variações de preços do mercado;
- Permitem a recuperação de alguns dos benefícios que se perdem da frequente divergência entre os preços fixos do mercado retalhista e os preços variáveis do mercado grossista.

3.2.2 - Condicionamento da Procura: Programas existentes

Os programas de Condicionamento da Procura podem ser divididos em duas grandes categorias que diferem uma da outra na forma como os incentivos de mudança ou redução de carga são levados ao consumidor [58]. Assim, existem os programas baseados em Preços ou Tempo (*Price-based programs* ou *Time-based programs*) e programas baseados em Incentivos (*Incentive-Based Programs*) [57, 58, 59, 61, 66].

Os programas Baseados em Preços ou Tempo consistem em oferecer ao consumidor uma gama de preços variável no tempo. Neste tipo de programas, o preço da eletricidade varia em certos períodos de tempo de acordo com o custo de fornecimento em tempo real [66] e consoante essa variação, o consumidor altera os seus hábitos de consumo [59, 61]. Segundo [57], podem-se definir os principais programas presentes nesta categoria:

- **Tarifas de Tempo de Uso (*Time-of-Use Pricing*)** - Estas tarifas foram desenvolvidas para refletir de forma mais concreta a produção, sendo que o custo das mesmas é mais elevado durante os períodos de pico e mais baixo durante os períodos de vazio [63];
- **Tarifas de Preço em Tempo Real (*Real Time Pricing*)** - Neste tipo de tarifas, os consumidores são cobrados de hora a hora, sendo que os preços variam também de hora a hora, refletindo o verdadeiro custo da eletricidade no mercado grossista. Os consumidores com este tipo de tarifa são informados acerca dos preços no dia anterior ou uma hora antes. Muitos economistas estão convencidos de que os programas com tarifas de Preço em Tempo Real são os mais diretos e eficientes programas de Condicionamento da Procura e são os mais adequados para um mercado elétrico competitivo e desregulado [57, 58, 66];

- **Tarifas de Preço de Pico Crítico (*Critical Peak Pricing*)** - Estas tarifas incluem um preço bastante alto pré-especificado que ocorre num limitado número de dias ou horas por ano. Fora esses períodos pré-estabelecidos, assume uma tarifa de Tempo de Uso ou tarifa de preço constante. Os períodos pré-estabelecidos normalmente correspondem, por exemplo, a alturas de contingências no sistema ou em alturas que os preços do mercado grossista sejam bastante elevados. [57, 58, 66].

Os Programas Baseados em Incentivos são programas voluntários, em que, segundo [57] são divididos em clássicos e baseados em mercado. Os consumidores que participam nos programas clássicos recebem incentivos de participação normalmente sobre a forma de crédito na sua conta de eletricidade ou descontos nas tarifas diárias. Nos programas baseados em mercado, os participantes são recompensados em dinheiro pelo seu desempenho. Essa recompensa está diretamente ligada à quantidade de redução de carga durante os períodos críticos de funcionamento do sistema elétrico [57, 58, 59, 61, 66]. Segundo [57], alguns dos principais programas contidos nesta categoria são:

- **Programas de Controlo Direto (*Direct Control*)** - este é um programa clássico, em que os operadores do setor podem de forma remota desligar equipamentos dos participantes num curto espaço de tempo. Este tipo de programas pode ser interessante para clientes residenciais e pequenos clientes comerciais. Pela participação neste programa, os consumidores recebem pagamentos de incentivo ou descontos nas suas tarifas, não estando sujeitos a multas [57, 58];
- **Programa de Licitação da Procura (*Demand Bidding*)** - é um programa baseado em mercado onde o consumidor pode licitar uma quantidade específica de redução da sua carga no mercado grossista. A licitação só é aceite se for negociada abaixo do preço de mercado. No caso de a licitação ser aceite, o consumidor deve cortar a quantidade de carga que licitou. Caso não o faça está sujeito ao pagamento de uma multa [57, 58];
- **Programas de Emergência do Condicionamento da Procura (*Emergency Demand Response*)** - É também um programa baseado em mercado. Consiste no pagamento ao consumidor de incentivos por valores de carga reduzida durante alturas de emergência [57, 58].

A figura 3-4 mostra, de uma forma sintetizada, a divisão dos diversos programas de Condicionamento da Procura [57]:

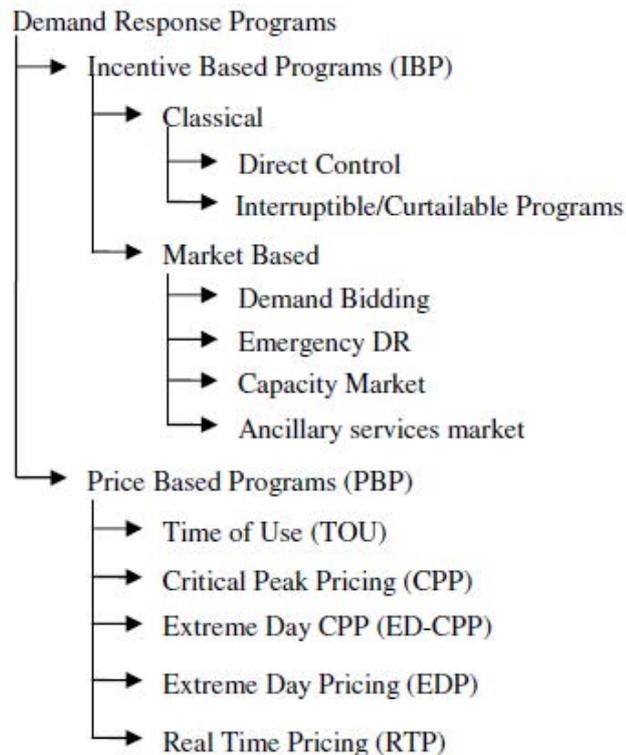


Figura 3–4 - Apresentação dos diferentes programas de Condicionamento da Procura de forma sintetizada [57].

3.2.3 - Condicionamento da Procura: Benefícios e custos associados

Os programas de Condicionamento da Procura têm um importante benefício que está inerente ao seu funcionamento. Este benefício consiste numa melhoria da eficiência de recursos da produção elétrica, devido a um maior alinhamento entre os preços que os consumidores pagam pela eletricidade e o valor que estes dão à mesma. Este aumento de eficiência cria uma variedade de outros benefícios que podem ser subdivididos em quatro grupos [57, 58, 60]:

- Benefícios associados aos participantes;
- Benefícios associados a todos os intervenientes do mercado;
- Benefícios associados à fiabilidade dos sistemas elétricos;
- Benefícios associados ao funcionamento do mercado.

Quanto aos benefícios resultantes aos participantes, estes podem esperar poupanças na sua conta de eletricidade se reduzirem o seu consumo durante as horas de pico ou horas um preço mais elevado da eletricidade. Obviamente esta não será a única maneira de se verificar algum tipo de poupança na tarifa elétrica. Poderá haver clientes que consigam poupar sem sequer mudarem os seus hábitos de consumo. Isto pode ser conseguido por clientes que já tenham o seu consumo normal fora das horas de pico ou por clientes que aumentem o seu consumo de eletricidade em horas de vazio [57, 58, 60].

No que diz respeito aos benefícios associados a todos os intervenientes do mercado, é esperada uma diminuição do preço da eletricidade, derivada de uma utilização mais eficiente

das infraestruturas disponíveis (por exemplo, a redução da procura de unidades de produção com um preço elevado). Além disso, os programas de Condicionamento da Procura podem aumentar a capacidade de fornecimento de curto prazo, que, por sua vez, resulta num custo evitado ou adiado com capacidade. O impacto em cascata dos programas de Condicionamento resulta também numa menor necessidade de reforço e melhoramento das infraestruturas, tanto de transporte como de distribuição. Todos os custos evitados ou adiados irão refletir-se no preço da eletricidade de todos os consumidores, estejam eles abrigados ou não pelos programas [57].

Relativamente aos benefícios ligados à fiabilidade, através de um programa de condicionamento bem projetado, é possível aos participantes reduzirem o risco de saída de serviço. Como consequência, os próprios participantes estão a reduzir o seu risco de serem expostos a situações de saída de serviço e interrupção do fornecimento elétrico [57].

Por último, os programas de Condicionamento da Procura trazem também benefícios relacionados com o funcionamento do mercado. Os participantes destes programas têm mais escolhas, mesmo quando não existe competitividade no mercado retalhista. Estes programas permitem também reduzir a volatilidade de preços no mercado elétrico e induzir uma responsabilidade acrescida dos participantes, em relação à sua demanda, reduzindo assim a possibilidade dos agentes do mercado de exercitarem poder no mesmo [57].

Na figura 3-5 é demonstrado, em forma de síntese, a classificação e separação dos diferentes benefícios associados ao Condicionamento da Procura:

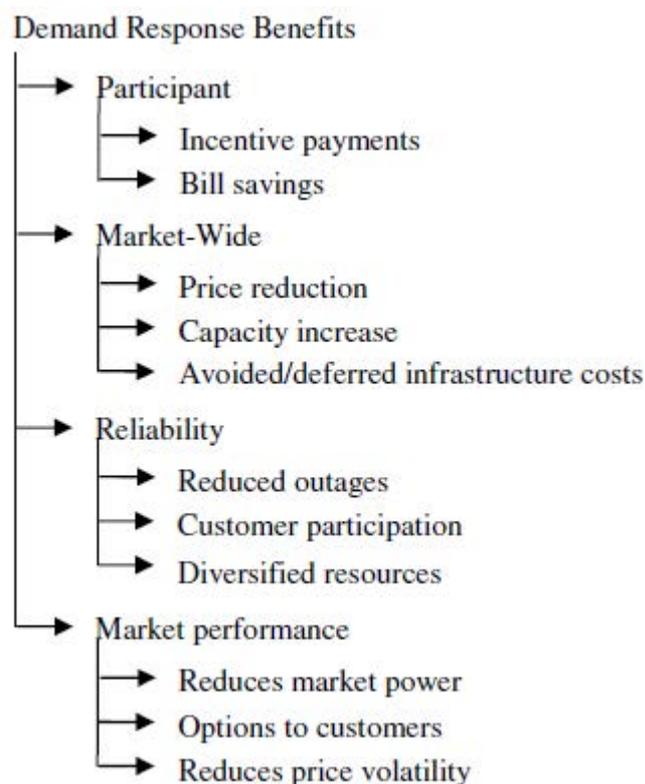


Figura 3–5 - Os benefícios inerentes aos Programas de Condicionamento da Procura [57].

No entanto, para a implementação destes programas, existem custos associados. No que diz respeito ao participante poderá ser necessário instalar algum tipo de tecnologia que permita a participação no programa. Apesar destes custos serem normalmente pagos pelos

participantes, a assistência técnica é fornecida pela empresa que disponha o produto ou pelo operador do setor que disponha do programa. Dependendo do tipo de programa, os custos podem variar. O operador responsável pelo programa terá que comportar os custos iniciais e custos mais elevados de funcionamento. A maior parte dos programas de Condicionamento da Procura, envolvem custos de medição e comunicação como custos iniciais. Os custos com o funcionamento estão normalmente relacionados com gastos na administração e gestão do programa. O gasto com marketing é também essencial, tanto para ser usado como ferramenta de educação para os consumidores como também para atrair novos participantes [57].

Os diferentes custos associados a programas de condicionamento são mostrados na figura 3-6:

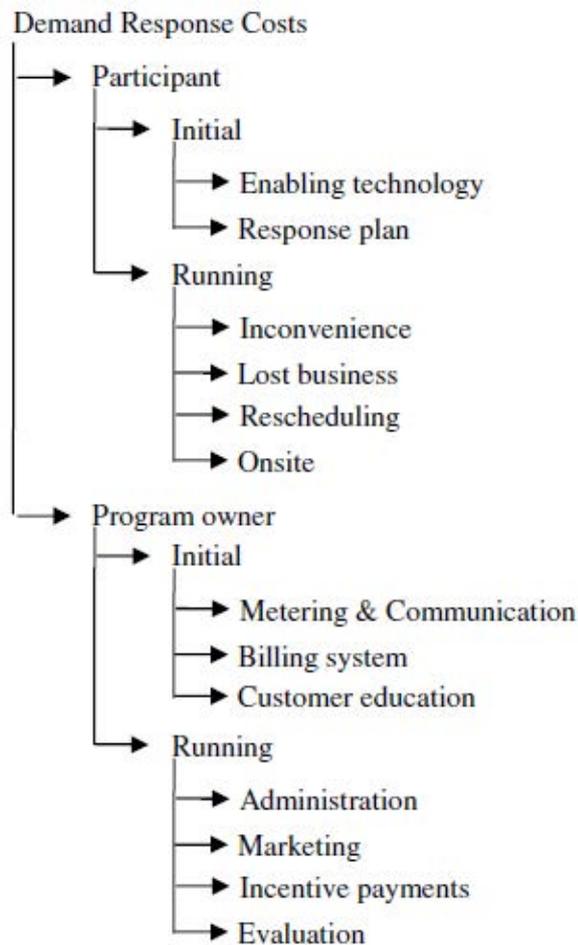


Figura 3—6 - Custos associados aos Programas de Condicionamento da Procura [57].

3.3 - O papel do *Feedback* de Energia no consumidor

Na maior parte do tempo, o consumo doméstico de energia é invisível para o consumidor [67, 68, 69]. Devido a este facto, as práticas de gestão e conservação de energia tal como os programas de Condicionamento da Procura tornam-se difíceis de conduzir [67]. A maior parte dos consumidores, tem apenas uma vaga ideia de quanta energia está a ser usada para diferentes propósitos e qual a diferença que podem fazer mudando o seu comportamento diário ou investindo em medidas de eficiência [68].

De forma a mudar a visão dos consumidores em relação ao seu consumo energético e tornar o sistema elétrico mais eficiente, a União Europeia, tal como foi referido anteriormente, decidiu que todos os Estados-Membros até 2020 terão de instalar infraestruturas inteligentes de medida, onde o contador inteligente tem um papel fundamental. Estes contadores têm o potencial de fornecer aos consumidores diversas medidas, entre elas o consumo em tempo real e informação acerca do custo da sua própria energia [67].

No entanto, os contadores inteligentes por si só não garantem uma maior eficiência no que diz respeito ao consumo de energia [68, 70]. Apenas com o *software* e o *hardware* dos novos contadores, o consumidor não irá poupar energia automaticamente. No entanto, se se juntar à implementação destes novos contadores o comportamento dos consumidores, o resultado é um importante impulsionador no que respeita a atingir poupança e eficiência energética [70].

A distância entre o consumidor e o contador inteligente pode então ser compensada por soluções de *feedback* de energia. A infraestrutura avançada de medição oferece então oportunidades significativas para estimular e motivar os consumidores a serem conscientes acerca do seu consumo, com o auxílio do *feedback* adequado [67, 70].

A tecnologia e o comportamento interagem e envolvem-se um com o outro através do tempo, ou seja qualquer tentativa de mudar os padrões de fornecimento e consumo tem que ter em conta os interfaces entre o fornecimento, a tecnologia e o consumidor e de que forma podem ser melhorados [68].

3.3.1 - *Feedback* de Energia: Definição

O *feedback* é então um interface entre certos dispositivos ou dados e o consumidor, no sentido de como a informação pode ser trocada [70]. Segundo o Dicionário de Inglês de Oxford, o *feedback* pode ser classificado como:

- Uma informação acerca do resultado de um processo ou ação que pode ser usada para a modificação ou controlo de um processo ou sistema. Normalmente esta modificação ou controlo é usado notando a diferença entre o resultado desejado e o resultado efetivamente adquirido.

Esta definição aplicada acima está de uma forma direta relacionada com a aprendizagem. Esta aproximação à aprendizagem ajuda a explicar o porquê do fato de que a informação relacionada com o ambiente que nos rodeia e a própria educação não levam necessariamente a uma mudança de comportamento. A aprendizagem é um processo ativo, e no que respeita a assuntos práticos está relacionada como a realidade nos é apresentada. O *feedback* é então um elemento essencial numa aprendizagem efetiva [69].

Levando o significado de *feedback* para o setor energético, este tem sido visto como uma ferramenta de aprendizagem, permitindo aos consumidores de energia aprenderem através da sua própria experimentação. O *feedback* cobre então uma grande gama de práticas, onde a ideia geral a retirar é olhar para a contribuição do mesmo como a construção de um conhecimento subentendido acerca do fornecimento e uso da energia. Desta forma os consumidores recolhem a informação relacionada com o seu consumo energético, agem

(modificando o seu comportamento) e ganham conhecimento do que acontece através da interpretação de qualquer tipo de *feedback* [68].

3.3.2 - *Feedback* de Energia: Tipos e modos

O *feedback* de energia pode então ser classificado quanto ao seu modo e ao seu tipo. No que diz respeito ao tipo de *feedback*, este é classificado de acordo com a velocidade com que a informação é recebida pelo consumidor e como é feita aprendizagem dessa informação pelo mesmo. Assim, os principais tipos de *feedback* encontrados na literatura são, o *feedback* direto e o *feedback* indireto [67].

O *feedback* direto consiste numa atualização de informação ao consumidor em tempo real. Normalmente este tipo de informação está disponível na procura e inclui o uso de aparelhos residenciais que facultam a informação em tempo real ao consumidor [67, 68, 69].

O *feedback* indireto envolve um processamento da informação por parte das empresas envolvidas no setor elétrico, sendo a informação posteriormente enviada ao consumidor por essas empresas ou por uma terceira parte envolvida [67, 68, 69].

Numa análise mais aprofundada além dos dois principais tipos de *feedback*, podem ser acrescentados mais três [67, 68, 69]:

- ***Feedback* direto** - este tipo de *feedback* encontra-se disponível no próprio ato de procura e o consumidor aprende através de observação ou pagamento;
- ***Feedback* indireto** - este tipo de *feedback* consiste no processamento de dados por parte de empresas ligadas ao setor elétrico com o envio posterior de dados ao consumidor. O consumidor aprende através de leitura e reflexão dos dados disponibilizados;
- ***Feedback* inadvertido** - Consiste numa aprendizagem por associação. Esta aprendizagem é feita com recurso a novos equipamentos de uso de energia, como por exemplo o uso de microgeração e o desenvolvimento de projetos comunitários de conservação de energia;
- ***Feedback* controlado pelos operadores do setor** - Este tipo de *feedback* não foi desenvolvido tendo em mente a aprendizagem do consumidor mas uma aprendizagem acerca do consumidor;
- **Auditorias energéticas** - As auditorias são incluídas como um tipo de *feedback* pois fornecem informação de base vital relacionada com o capital energético e serve de guia em como se pode melhorar o mesmo.

No que diz respeito ao modo como o *feedback* é feito, existe também uma classificação, que está relacionada com o meio usado para se efetuar o mesmo. Entenda-se por modo de *feedback*, o meio usado para a transmissão da informação ao consumidor. Os modos mais comuns de *feedback* são [71]:

- Pré-pagamento da tarifa elétrica;
- Facturamento informativo da tarifa elétrica;

- Aparelhos domiciliários;
- Websites - normalmente usados para comparação de dados, seja históricos de consumo ou com outros consumidores;
- Televisão ou telemóvel - modos de *feedback* menos imediatos que os aparelhos *in-home*.

O tipo e modo de *feedback* estão intimamente relacionados. A categorização dos modos em cada tipo de *feedback* é dependente da velocidade de transmissão de informação e grau de automatização do modo especificado. Por exemplo, normalmente os aparelhos *in-home* permitem transmitir a informação ao consumidor em tempo real ou quase real, que categoriza este modo num tipo de *feedback* direto.

Sendo assim os principais exemplos de modos de *feedback* associados a um tipo de *feedback* direto são [68, 69]:

- **Leitura do próprio contador** - o consumidor lê o seu próprio contador de eletricidade, não existindo outro dispositivo auxiliar;
- **Aparelhos diretos** - são monitores portáteis que comunicam com o contador. Permitem de forma rápida e acessível ao consumidor a consulta de diversos dados em relação ao seu consumo (valor de consumo, pegada de carbono, etc);
- **Feedback interativo via PC** - o consumidor pode consultar o seu computador a fim de ver qual o seu consumo. Esta modalidade pode permitir ainda a comparação com um histórico de consumos ou até com outros consumidores;
- **Aparelhos de ambiente** - este tipo de aparelhos não mostram texto nem números. O seu modo de funcionamento consiste em alertar os consumidores de que algo relevante para o seu fornecimento acabou de mudar, transmitindo informação ao consumidor de forma acessível. Pode ser usado um alarme para quando a carga ultrapassa um determinado nível ou por exemplo acender certas luzes quando o preço da eletricidade se encontra num máximo diário. Este tipo de dispositivos assenta o seu funcionamento com base num campo da psicologia cognitiva, chamado de processamento pré-atento. Este fenómeno consiste numa acumulação inconsciente de informação presente num ambiente específico. Normalmente no dia-a-dia, o nosso cérebro está continuamente a monitorizar sons e imagens, estando também a descodificar os mesmos de forma inconsciente, em informação relevante [71, 72, 73]. O principal objetivo deste tipo de dispositivos, assenta na capacidade de envio de informação relevante ao consumidor, sem que este necessite de estar atento à mesma para a entender e processar [71, 72].

No que respeita ao *feedback* indireto, é apenas usado como modo de *feedback*, o facturamento informativo. No entanto apresentando algumas alternativas [68, 69]:

- **Facturamentos mais frequentes** - faturação baseada na leitura do contador em vez de estimada;
- **Facturamentos mais frequentes com histórico** - igual ao anterior sendo adicionada a capacidade de comparação com o mesmo período do ano transato;
- **Facturamento mais frequente com *feedback* normativo** - consiste numa faturação também baseada na leitura do contador com possibilidade comparação com outros consumidores com níveis de consumo idênticos;
- **Facturamento mais frequente com *feedback* desagregado** - no que respeita ao facturamento é idêntico aos anteriores, juntando a possibilidade de se saber qual a quantidade de energia consumida em cada tomada existente na habitação.

3.3.3 - **Feedback de Energia: Efetividade do *feedback* direto e indireto**

No que diz respeito à efetividade do tipo de *feedback*, existem diversos fatores que contribuem para uma maior ou menor efetividade do mesmo. Entres estes, podem-se distinguir [68]:

- Contexto geral (social, educacional, fatores históricos e infraestrutura de energia);
- Escala e tempo de uso da energia. O *feedback* indireto dá uma melhor ideia do que acontece num quadro mais geral enquanto o *feedback* direto permite ilustrar melhor o impacto do consumo de pequenos consumidores;
- Sinergias existentes entre o *feedback* e outras formas de informação;
- Temporização. O facturamento ou outro tipo de *feedback* periódico permitirá ver melhor os efeitos a longo termo, um tipo de *feedback* direto permitirá ver melhor a importância do comportamento momento a momento;
- A tecnologia envolvida;
- A qualidade da informação de *feedback*.

Normalmente na literatura, os valores de efetividade dos tipos de *feedback* direto e indireto são concordantes, onde para um *feedback* direto se estimam poupanças entre os 5 e os 15% de energia e para um *feedback* indireto um valor entre os 0 e 10% [69, 70, 72].

Em [69], é feita um revisão de 38 estudos de *feedback* que foram feito ao longo de 25 anos. Na tabela 3-1, o número de estudos é reduzido a 34 devido a apenas se quererem comparar estudos de *feedback* direto e indireto, sendo demonstradas as poupanças atingidas em função do tipo de *feedback* e o número de estudos correspondente ao mesmo:

Tabela 3—1 - Demonstração dos resultado obtidos da revisão de 38 estudos associados ao *feedback* de energia ao consumidor [69].

Poupança energética	Estudos de <i>feedback</i> direto (n=21)	Estudos de <i>feedback</i> indireto (n=13)
20%	3	0
15-19%	1	1
10-14%	7	6
5-9%	8	0
0-4%	2	3
Desconhecido	0	3

Pode-se verificar que tanto os valores presentes na literatura, como aqueles verificados nos 34 estudos de *feedback* relativos a poupança energética são concordantes. Apesar de os estudos serem datados ao longo dos últimos 25 anos, é possível verificar-se que a tendência aponta para uma maior efetividade de um tipo de *feedback* direto. Desta forma pode-se afirmar que um tipo de *feedback* direto conseguirá poupanças na ordem dos 5 a 15% e um tipo de *feedback* indireto uma poupança na ordem dos 0 a 14%.

3.4 - Resumo

Na Secção 3.1 deste capítulo, foram identificadas as diretivas europeias que obrigam a uma transformação do setor elétrico, primariamente no que diz respeito a infraestruturas e posteriormente em relação ao funcionamento do mercado elétrico e serviços adjacentes.

São depois focados na Secção 3.2, os novos serviços energéticos com principal incidência nos programas de condicionamento da procura, onde foi identificada a sua definição, foram abordados os programas existentes e os custos e benefícios associados.

Por fim na Secção 3.3, é dada importância ao *feedback* energético ao consumidor, onde são caracterizados os tipos e modos de *feedback* energético e é avaliada a efetividade dos tipos de *feedback* existentes.

Capítulo 4

Caso de Estudo: Desenvolvimento do dispositivo SmarTraffic

O objetivo deste capítulo consiste no desenvolvimento de um dispositivo para auxiliar os consumidores nas variações de preços dos programas de condicionamento da procura baseados em tempo ou preço. Na secção 4.1, é caracterizado o tipo de tarifários aplicáveis, o tipo e modo do *feedback* do caso de estudo assim como é feita a sua comunicação, sendo todos estes campos justificados com a revisão da literatura. É posteriormente feita uma descrição do funcionamento do aparelho. Nas secções seguintes, 4.2 e 4.3, será descrita a arquitetura lógica e física do aparelho.

Na secção 4.2, dar-se-á foco a tudo que envolva a estrutura de lógica do dispositivo, onde serão discriminados por módulos de funcionamento os respetivos requisitos, as possíveis tecnologias de comunicação a implementar e de que forma o caso de estudo interage com os programas existentes de condicionamento da procura. No que respeita à secção 4.3, será feita uma análise comparativa das duas tecnologias de comunicação e um levantamento de quais os tipos principais de constituintes físicos necessários, a fim de cumprir os requisitos lógicos e de funcionamento do dispositivo.

Na secção 4.4, é apresentada a solução final para a arquitetura física do dispositivo, onde é feita uma comparação de preço entre as duas soluções apresentadas para a mesma, a fim de se justificar a sua escolha.

4.1 - SmarTraffic: Desenvolvimento do dispositivo

Um dos objetivos desta secção será fazer uma caracterização dos principais campos de desenvolvimento referentes ao dispositivo SmarTraffic (ST), nomeadamente os tarifários aplicáveis, o tipo de comunicação e o tipo e modo de *feedback* associado ao dispositivo. O segundo objetivo desta secção passa por uma descrição do funcionamento do dispositivo, tendo em conta a caracterização feita na subsecção anterior.

4.1.1 - SmarTraffic: Caracterização do tipo de tarifários aplicáveis, tipo e modo de *feedback* e comunicação inerente ao dispositivo

A implementação das redes inteligentes permite a construção de condições para que no mercado apareçam novos serviços energéticos, entre estes, o aparecimento de tarifários de eletricidade mais flexíveis. A EDP e a EFACEC, no contexto do projeto da InovGrid, refere como possíveis soluções para novos tipos de tarifários, tarifas contidas nos programas de condicionamento da procura baseados em tempo ou preço, nomeadamente novos tarifários dinâmicos baseados nas tarifas de tempo de uso e tarifas de tempo real [8, 25].

Tal como já foi verificado no capítulo 3, na subsecção 3.3.3, a informação referente aos preços dos tarifários, de forma a surtir um efeito mais efetivo no consumidor, necessita de chegar ao mesmo em tempo quase real. Assim, o dispositivo ST tem de estar munido de um tipo de *feedback* direto. Este tipo de *feedback* proporciona uma poupança energética superior e consequentemente uma diminuição da tarifa elétrica a ser paga pelo consumidor.

O dispositivo terá então de se atualizar periodicamente com o contador. A partir da instalação dos contadores inteligentes, os consumidores domésticos terão a possibilidade de se ligar ao contador através do módulo de comunicação *Home Area Network* (HAN). Este tipo de ligação permite ao consumidor, fazer uma extração de dados relacionados com preços, tarifários e consumos [23, 24].

Um dos objetivos do desenvolvimento do dispositivo é também disponibilizar informação relevante ao consumidor de forma acessível. Assim, o modo de *feedback* escolhido foi o de um dispositivo de ambiente. Tal como é referido no capítulo 3, na subsecção 3.3.2, este tipo de dispositivos são assim chamados devido à sua relação com um fenómeno do campo psicologia cognitiva, chamado de processamento pré-atento. Este fenómeno consiste numa acumulação inconsciente de informação presente num ambiente específico. Normalmente no dia-a-dia, o nosso cérebro está continuamente a monitorizar sons e imagens, estando também a descodificar os mesmos de forma inconsciente, em informação relevante. No caso do ST, a ideia é a mesma: através de impulsos luminosos associados à variação de preços, o dispositivo está a enviar informação de forma discreta ao consumidor, não necessitando este de estar atento à mesma para a entender e processar [73, 74].

Por fim, no que diz respeito à comunicação, tal como é referido no capítulo 2, na subsecção 2.2.1, as soluções apresentadas para o tipo de comunicação de uma rede tipo HAN, são respetivamente as tecnologias Wi-Fi e Zigbee [8]. Esta duas soluções são não só aceites no contexto nacional, mas também no contexto internacional [38]. Assim, no desenvolvimento do caso de estudo, será assumido que os contadores inteligentes instalados em território nacional estarão munidos de um módulo wireless, onde esse módulo comunicará através de uma das duas tecnologias abordadas anteriormente. Será assumido também, que o contador no início de cada dia terá a informação atualizada do tarifário aplicado e que os preços da eletricidade serão atualizados aquando da mudança do período de preço da eletricidade.

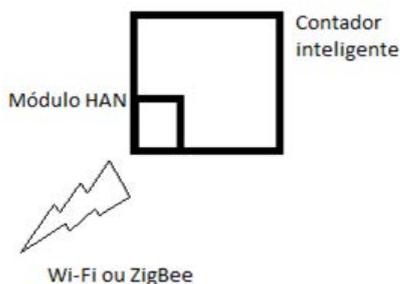


Figura 4–1 - Representação dos possíveis modos de comunicação do módulo *Home Area Network* (HAN) contido nos contadores inteligentes.

4.1.2 - SmarTraffic: Descrição de funcionamento

O funcionamento do aparelho SmarTraffic baseia-se num dispositivo, que possui três *Light-emitting diodes* (LED's), um verde, um amarelo e um vermelho e um *Liquid crystal display* (LCD) (com informação sobre o preço por período e referente ao tempo que falta para o fim do período de preço em questão) e uma entrada micro-*Universal Serial Bus* (USB).

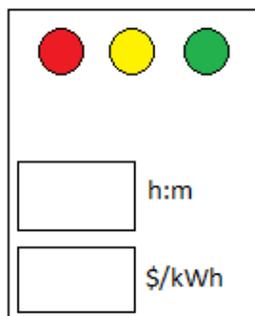


Figura 4–2 - Possível esboço físico do dispositivo SmarTraffic.

Quando o ST (Figura 4-2) é ligado à corrente, o relógio interno presente no dispositivo sincroniza-se com o do contador inteligente. Posteriormente retira do mesmo os dados referentes ao tarifário aplicado ao consumidor e o preço aplicado à eletricidade no período em questão.

Através do reconhecimento do tipo de tarifário, acede ao algoritmo relacionado com o mesmo a fim de conhecer os períodos horários, duração dos mesmos e assim estruturar o preço da eletricidade. O ST já contém tipos de tarifários por defeito, porém, ainda possibilita uma atualização dos algoritmos de tarifários através de uma porta micro-USB.

Os preços são estruturados em três categorias, uma de preço alto, preço baixo e preço intermédio. Estas três categorias correspondem a cada um dos LED's, numa lógica usada nos semáforos normais. Dependendo do período em que o consumidor se encontra, isto é, um período de preço alto, intermédio ou baixo, é ligado o LED vermelho, amarelo ou verde respetivamente. Todos os dados de entrada são extraídos do contador inteligente (Figura 4-3).

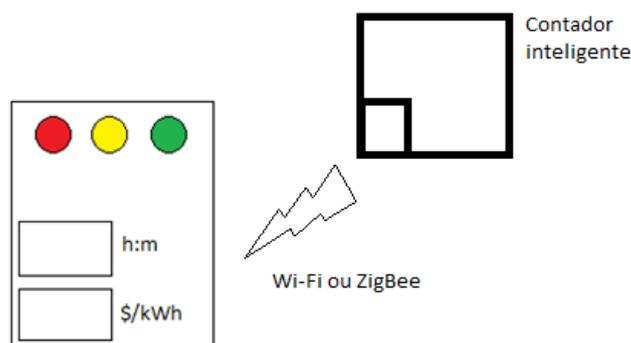


Figura 4–3 - Forma de comunicação entre o contador inteligente e o dispositivo SmarTraffic.

4.2 - SmarTraffic: Arquitetura lógica

Nesta secção será feita uma análise da lógica associada ao funcionamento do dispositivo. Inicialmente serão analisados os requisitos funcionais do módulo de comunicação, sendo posteriormente caracterizadas as duas tecnologias de comunicação apresentadas pela EDP como soluções para uma rede *Home Area Network* (HAN). Na secção seguinte será focado o módulo de lógica e tratamento de dados, onde será feita referência aos requisitos funcionais ligados ao mesmo. Por fim, serão focados os diversos blocos de funcionamento, com principal incidência na forma como a informação de preços é estruturada de acordo com os diferentes tipos de tarifários.

4.2.1 - Módulo de comunicação

O módulo de comunicação do SmarTraffic (ST) é responsável pela extração e receção de dados do contador, sendo a transmissão destes feita de forma unidirecional ou simplex (Figura 4-4). O sentido do fluxo de informação é feito então do contador para o dispositivo.



Figura 4–4 - Caracterização do sentido e da forma de comunicação feito entre o contador inteligente e o dispositivo SmarTraffic.

Os dados extraídos necessários ao funcionamento do ST são: a hora presente no contador para que haja uma sincronização do relógio interno do dispositivo com a hora do contador inteligente, o tipo de tarifário aplicado ao consumidor e o preço para o período em questão. No que diz respeito aos dados relacionados com a hora e tarifário, o dispositivo apenas fará o reconhecimento uma vez por dia. Em relação aos preços, o dispositivo fará a sua extração de forma periódica, consoante a duração dos períodos do tarifário.

Abordando mais concretamente o funcionamento do módulo de comunicação, este tem que garantir alguns requisitos de funcionamento:

- O módulo de comunicação tem de garantir um tipo de comunicação unidirecional entre o contador e o ST, com capacidade de receção de todos os dados necessários ao funcionamento (tipo de tarifário, preço do período e sincronização horária com o contador);
- Quando o dispositivo é ligado à corrente, tem de requerer de forma imediata os dados referentes à sincronização horária, tipo de tarifário e preço da eletricidade;
- Quando o dispositivo se encontra ligado à corrente, o módulo de comunicação tem de garantir uma capacidade de extração de dados de preços de forma periódica;
- Sempre que um período de preço termina, o módulo tem de extrair de novo o preço para o período seguinte, com exceção feita à meia-noite de cada dia, onde terá de voltar a sincronizar-se com a hora presente no contador e extrair os dados referentes ao tipo de tarifário e preço;
- A velocidade de transmissão da informação tem de ser garantida em tempo quase real de forma a que o consumidor veja a oscilação de preço de forma quase imediata;
- No caso de falha de receção de dados, o sistema de comunicação tem de garantir a possibilidade de dez em dez segundos, uma nova tentativa de receção.

No projeto InovGrid, são identificadas pela EFACEC, duas possíveis soluções a implementar numa rede HAN. Essas tecnologias de comunicação são respetivamente o Wi-Fi e o ZigBee [8].

O Wi-Fi consiste numa tecnologia de comunicação que permite a dispositivos eletrónicos, a troca de informação sem-fios (ondas rádio) numa rede de computadores, incluindo conexões de Internet de alta velocidade. Um dispositivo que normalmente use a tecnologia Wi-Fi, consegue-se conectar a uma rede de internet através de um ponto de acesso a uma rede sem fios. Normalmente estes pontos de acesso têm um alcance de vinte metros no interior de espaços e um alcance muito maior no exterior. Uma rede Wi-Fi normalmente usa como protocolo de comunicação o IEEE 802.11, que define um conjunto de normas para a implementação de uma rede sem fios [75].

O ZigBee consiste numa especificação para um conjunto de protocolos de alto nível, usando pequenos rádios digitais de baixa potência com base na norma IEEE 802.15.2 para redes de área pessoal. Normalmente o ZigBee é destinado a aplicações que requerem uma baixa taxa de dados, baterias com longa duração e redes seguras. A velocidade de transmissão não é muito alta, o que se torna adequada para uma transmissão de dados periódicos ou intermitentes [76].

4.2.2 - Módulo de lógica e tratamento de dados

O módulo de lógica e tratamento de dados do ST, tal como o nome indica, é responsável pelo tratamento dos dados através de lógica, extraídos pelo módulo de comunicação do dispositivo, para que permita estruturar os mesmos para a forma de *feedback* final usada.

Este módulo pode ser também atualizado, no que diz respeito aos algoritmos referentes aos tipos de tarifários aplicados, através de uma porta *micro-Universal Serial Bus* (USB).

O módulo de lógica e tratamento de dados tem então que cumprir uma série de requisitos de funcionamento:

- O dispositivo, quando é ligado à corrente a meio de um período horário, tem de ter uma capacidade rápida de processamento e reconhecer o tipo de tarifário do consumidor, para que dessa forma possa estruturar o preço da eletricidade de acordo com o tarifário e ligar o *Light-emitting diode* (LED) respetivo ao período em que foi ligado;
- O dispositivo quando passa de um período horário para outro, tem de ter a capacidade de atualização rápida do preço do período, para que desta forma haja uma atualização do LED respetivo;
- Quando o dispositivo é ligado à corrente a meio de um período ou muda de um período para outro, este tem também de ter a capacidade rápida de processamento de cálculo ou atualização do tempo restante para o fim do período e identificar de forma rápida o preço para o período em questão, sendo disponibilizada a informação dos dois últimos num *Liquid crystal display* (LCD) associado ao dispositivo;
- O ST, quando é ligado pela porta micro-USB a um computador com ligação à internet, tem de ser capaz de atualizar os tarifários de forma rápida e simples para o consumidor.

No que respeita à lógica de funcionamento (Figura 4-5), a primeira ação do dispositivo quando é ligado à corrente, é sincronizar o seu relógio interno com o relógio do contador.

De seguida, o dispositivo extrai todos os dados necessários para o seu funcionamento, o tipo de tarifário e o preço do período atual.

É necessário haver uma avaliação da qualidade dos dados extraídos pelo dispositivo. No caso de uma avaliação negativa, é feita uma nova extração de dados do contador, sendo o intervalo de tentativa de extração de dez segundos.

No caso de os dados serem extraídos com êxito, o dispositivo avança para um estruturamento dos mesmos, onde através do reconhecimento do tarifário, obtém informação referente ao número de períodos horários durante o dia e à duração dos mesmos. Neste bloco se a qualquer momento o relógio interno do dispositivo chegar à meia-noite, ele volta-se a sincronizar horariamente com o contador e volta a extrair informação referente ao tarifário aplicado e preço do período.

Posteriormente, o dispositivo emite a informação estruturada de acordo com o modo de *feedback* escolhido. No caso em específico, consoante o grau de preço, o dispositivo acende o LED respetivo, emitindo também a informação do preço naquele período e o tempo restante para o término do mesmo. Tal como no bloco anterior, se a qualquer momento, o relógio interno atingir a meia-noite, o dispositivo volta a sincronizar-se com o contador. Se o *timer* associado à duração do período chegar a zero, o dispositivo volta a fazer a extração de dados e segue a mesma linha de funcionamento.

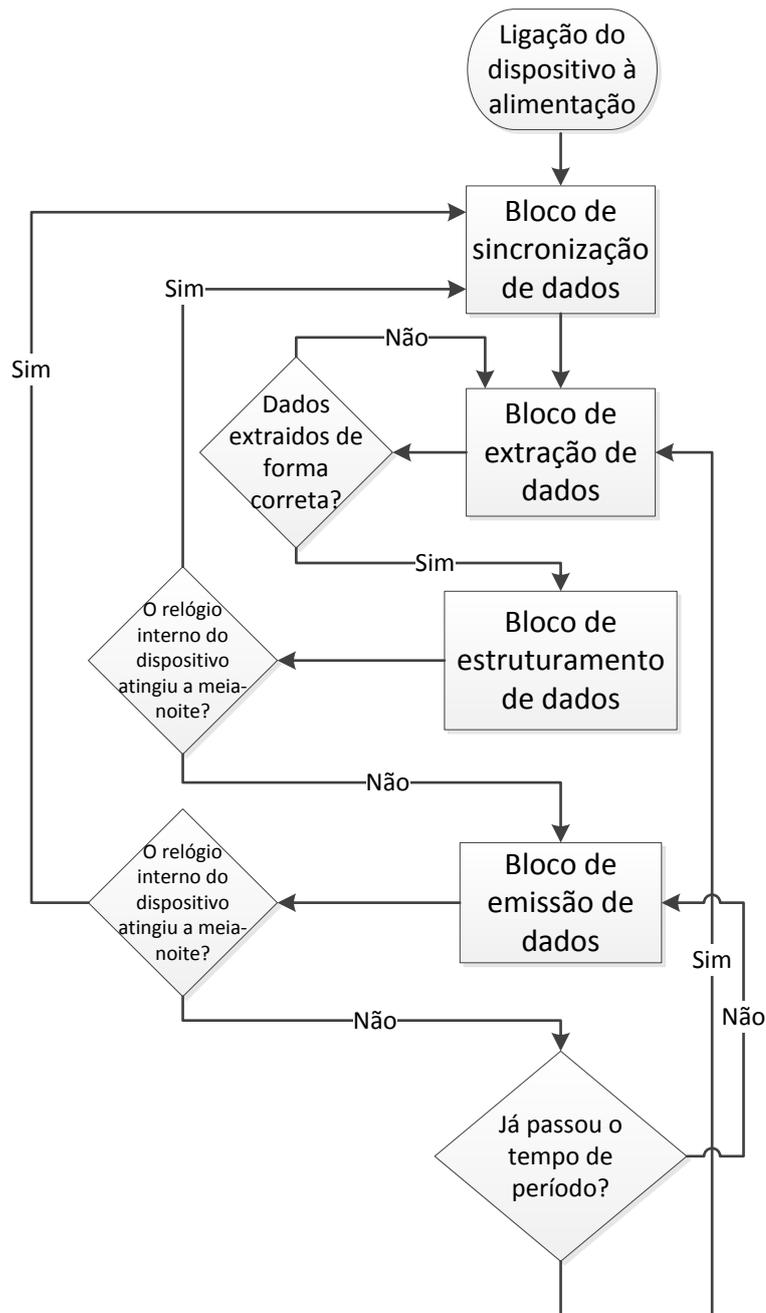


Figura 4–5 - Diagrama respeitante à lógica de funcionamento do dispositivo SmarTraffic.

O bloco de funcionamento que apresenta mais lógica envolvida é o de estruturamento de dados. É neste bloco, que é inicialmente feito um reconhecimento do tipo de tarifário aplicado ao consumidor. Consoante essa identificação, é ativado o algoritmo específico (Figura 4.6).

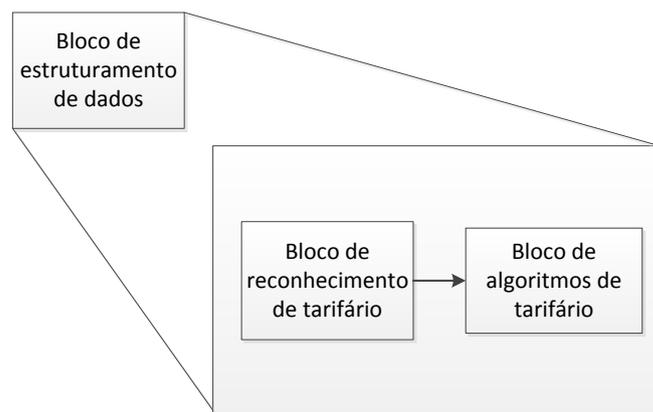


Figura 4–6 - Diagrama respeitante ao bloco de estruturamento de dados do dispositivo SmarTraffic.

Tal como já foi anteriormente referido, os tarifários, a serem incluídos no desenvolvimento do ST são tarifas ou variações da mesmas, baseadas em tempo real ou em tempo de uso.

As tarifas de tempo real consistem numa variação horária do preço da eletricidade vista pelo consumidor. Este tipo de tarifário apresenta duas modalidades. Numa delas, os preços da eletricidade para cada período horário, são negociados no dia anterior. Na outra o preço da eletricidade do período foi negociado na hora anterior.

O algoritmo usado para estas duas modalidades pode ser descritos pelos seguintes passos:

1. O dispositivo quando é ligado ou passa de um período para outro extrai a informação de preço e compara-o com dois valores pré-definidos, um valor de preço médio alto e um valor de preço médio baixo:

$$P_{\text{extraído}} \geq P_{\text{méd.sup.}} \text{ acende o LED vermelho}, \quad (4.1)$$

$$P_{\text{extraído}} \leq P_{\text{méd.inf.}} \text{ acende o LED verde}, \quad (4.2)$$

$$P_{\text{méd.sup.}} > P_{\text{extraído}} > P_{\text{méd.inf.}} \text{ acende o LED amarelo}, \quad (4.3)$$

Onde o $P_{\text{extraído}}$ se refere ao preço extraído no período atual pelo dispositivo, e o $P_{\text{méd.sup.}}$ e $P_{\text{méd.inf.}}$ referem-se aos preços médios presentes por defeito no dispositivo, necessários para comparação e categorização do preço do período. O cálculo deste valores médios será tido em conta em relação à conjuntura de valores estipulados para este tipo de tarifários;

2. O algoritmo, automaticamente define 24 períodos horários com duração de uma hora. A partir da verificação de quanto tempo falta para acabar o período, é iniciado um timer existente no dispositivo com o tempo restante de duração do mesmo, sendo esta informação emitida no LCD presente no dispositivo, juntamente com o preço do período. Quando o timer chega a zero, o dispositivo

volta-se a sincronizar com o contador extraído o preço do novo período e iniciando de novo o timer;

3. O valor do preço extraído é guardado no dispositivo. No fim do dia, se o dispositivo tiver todos os 24 preços em memória atualiza os valores de preço médio alto e baixo. Esta seleção pode ser feita de várias formas, como por exemplo pela contabilização do número de períodos de preço médio alto e baixo. Se num dia o dispositivo contabilizar 5 períodos de preço alto, este vai atualizar o valor médio alto com o quinto valor de preço mais alto do dia. O mesmo acontece com os períodos de preço baixo, onde neste caso será o valor mais elevado dos períodos de preço baixo a ser usado como valor de preço médio baixo. Se o SmarTraffic não contabilizar os 24 preços para aquele dia, não existe atualização dos preços médios alto e baixo.

Como se pode verificar, os passos acima apresentados para um algoritmo de tarifário em tempo real, funcionam tanto para um tarifário em que os preços são negociados no dia anterior, como a modalidade em que os preços são negociado uma hora antes. Esta flexibilidade está relacionada com a capacidade do dispositivo de extrair os preços de período a período.

As tarifas de tempo de uso são muito semelhantes às atuais tarifas bi-horárias existentes no contexto nacional. Estas diferenciam de forma pré-estabelecida dois períodos, um de vazio e outro fora de vazio. Esta diferenciação é feita para que os consumidores possam alterar os seus consumos para horas de vazio. No entanto existe uma outra alternativa, onde durante o período fora de vazio, pode aparecer um período de preço de pico. Normalmente a existência deste período é avisada com antecedência por parte dos operadores do setor, sendo o preço da eletricidade algumas vezes maior que o preço praticado no período fora de vazio.

Os passos que vão ser mostrados abaixo, permitem a construção de um algoritmo que novamente é flexível para as duas alternativas demonstradas:

1. O início e fim referentes a cada período de vazio e fora de vazio já se encontram definidos por defeito no dispositivo. Desta forma, quando o dispositivo é ligado, a informação de preço é extraída, sendo feito primeiro um reconhecimento do período. Se o período detetado for o de vazio, procede-se a uma atualização do valor:

$$P_{\text{vazio}} = P_{\text{extraído}} \text{ acende o LED verde,} \quad (4.4)$$

Onde, P_{vazio} é o preço referente ao período de vazio e $P_{\text{extraído}}$ o valor referente ao preço extraído do contador.

Se o período detetado for o de fora de vazio, terá de ser feita uma segunda avaliação do preço extraído, comparando-o com um valor de meio pico presente por defeito no dispositivo. Este valor serve de avaliação, para

perceber se nos encontramos num período de pico ou de fora de vazio. No caso de a avaliação resultar uma identificação de um período de pico, procede-se a uma atualização tanto do valor de pico como do valor de meio pico:

$$P_{\text{fora de vazio}} < P_{\text{meio pico}} \text{ é aceso o LED amarelo } , \quad (4.5)$$

$$P_{\text{fora de vazio}} = P_{\text{extraído}} , \quad (4.6)$$

$$P_{\text{extraído}} \geq P_{\text{meio pico}} \text{ o LED vermelho é aceso de forma intermitente } , \quad (4.7)$$

$$P_{\text{pico}} = P_{\text{extraído}} , \quad (4.8)$$

$$P_{\text{meio pico}} = P_{\text{pico}} / 2 , \quad (4.9)$$

Onde, $P_{\text{fora de vazio}}$ refere-se ao preço do período fora de vazio, P_{pico} refere-se ao preço existente durante o período de pico e a metade do preço de pico é chamado $P_{\text{meio pico}}$.

2. Durante o período de vazio, o dispositivo apenas precisa de extrair os dados uma vez do contador. Porém durante o período fora do vazio, é necessária uma extração de valores periódica. A justificação está relacionada com a possibilidade da existência de um período de pico. Desta forma, quando o período de fora do vazio entra em vigor, ou passa o tempo definido de intervalo para a extração de dados, é necessária fazer sempre uma nova avaliação. Esta avaliação consiste em comparar o valor de preço extraído com o valor de meio pico:

$$P_{\text{extraído}} \geq P_{\text{meio pico}} \text{ é aceso o LED vermelho de forma intermitente } , \quad (4.10)$$

$$P_{\text{pico}} = P_{\text{extraído}} , \quad (4.11)$$

$$P_{\text{meio pico}} = P_{\text{pico}} / 2 , \quad (4.12)$$

$$P_{\text{extraído}} < P_{\text{meio pico}} \text{ o LED amarelo é mantido aceso } , \quad (4.13)$$

3. Por fim, durante um período de pico, cada vez que os dados são extraídos, é necessária também fazer uma nova avaliação. Neste caso, é feita uma

comparação do valor de preço extraído com o valor de meio pico, sendo a única exceção feita, quando se atinge de novo o período de vazio:

$$P_{\text{extraído}} < P_{\text{meio pico}} \text{ é aceso o LED amarelo} \quad , \quad (4.14)$$

$$P_{\text{extraído}} \geq P_{\text{meio pico}} \text{ o LED vermelho continua no modo de funcionamento} \quad , \quad (4.15)$$

4. Durante os períodos de vazio e fora do vazio, os LED's e LCD seguem o funcionamento idêntico ao algoritmo anterior. Porém, na altura de pico o funcionamento torna-se um pouco diferente. O LED aceso é o vermelho, mas desta vez funcionando de forma intermitente. O LCD responsável pela transmissão do tempo restante para o fim do período, durante o período de pico, mostrará a palavra "PICO".

4.3 - SmarTraffic: Primeira solução para a Arquitetura Física

Nesta secção, será caracterizada uma primeira solução de quais os principais constituintes físicos necessários para o funcionamento do dispositivo SmarTraffic (ST). No que diz respeito ao módulo de comunicação, é feita uma comparação dos tipos de comunicação já evidenciados anteriormente. Com base nessa comparação, serão identificados componentes existentes no mercado que poderão garantir os requisitos de funcionamento previamente especificados. Na última secção, será feita uma análise semelhante, mas com o módulo de lógica.

4.3.1 - Módulo de comunicação

Na caracterização dos constituintes físicos do módulo de comunicação, os campos mais importantes a cumprir no contexto do caso de estudo são, baixo preço, baixo consumo energético, boa velocidade de sincronização e receção de dados aliada a uma baixa complexidade da rede. Assim, foi feita uma comparação entre as duas tecnologias distinguidas pela EDP e EFACEC, como soluções para o módulo de comunicação *Home Area Network* (HAN) presente nos contadores.

Na tabela 4-1, são então apresentados dados comparativos destas duas tecnologias de comunicação [77]:

Tabela 4–1 - Comparação dos dois tipos de comunicação usados no caso de estudo [77].

	ZigBee	Wi-Fi
Velocidade de transmissão de dados	250 kbits/s (máxima)	54 Mbit/s (máxima)
Alcance	10-100 Metros	50-100 Metros
Frequência de operação	2.4 GHz (geralmente)	2.4GHz (geralmente)
Complexidade da rede	Baixa	Alta
Tempo de sincronização	Dispositivos podem ser adicionados a um rede existente em menos de 30 milissegundos	Dispositivos demoram a conectar-se cerca de 3 a 5 segundos
Aplicações típicas	Redes de sensores, automação de edifícios e automação e controlo doméstico	Conetividade a rede sem fios e acesso à internet de banda larga

Apesar de a velocidade de transmissão de dados do ZigBee ser inferior, no caso em concreto não é algo limitativo, visto que o dispositivo apenas se conecta de forma periódica com o contador e a quantidade de dados partilhados é pequena. Desta forma, a tecnologia de comunicação ZigBee em relação ao Wi-Fi é mais acessível economicamente, tem um menor consumo energético, tem uma maior velocidade de sincronização e uma menor complexidade de rede. Sendo por isso uma tecnologia mais eficaz para ser usada no caso de estudo.

Desta forma, a solução escolhida para fazer a comunicação foi um módulo sem-fios Xbee 802.15.4, fabricado pela *Digi International*.



Figura 4–7 - Aspecto físico do módulo sem-fios Xbee 802.15.4 da *Digi International* [78].

Este módulo usa como protocolo de comunicação o IEEE 802.15.4, desenvolvido para redes de área pessoal. O protocolo ZigBee foi concebido com base no protocolo IEEE 802.15.4 e por isso são interoperáveis [79].

O módulo de comunicação Xbee 802.15.4 apresenta-se como uma solução para redes que apresentem a necessidade de uma baixa latência e tempo previsível de comunicação, tal como acontece na rede do caso de estudo [80].

No que diz respeito à sua performance, este módulo apresenta uma taxa de transmissão de dados de 250 kbps e um alcance no meio urbano de 30 metros, valores satisfatórios para o caso de estudo. Apresenta um baixo consumo (2.8-3.3 vdc) e um baixo custo e está munido de conversores analógico-digitais. Pode ainda operar em ciclos de *sleep mode*, o que quer dizer que durante as alturas em que o módulo não se encontra a funcionar (recepção de informação do contador), entra num modo de baixo consumo.

4.3.2 - Módulo de lógica e tratamento de dados

O módulo de lógica e tratamento de dados tem como função, a receção da informação em sinal analógico por parte do módulo de comunicação, transformando essa informação em sinal digital, onde posteriormente a mesma é estruturada e enviada no formato de *feedback* específico. Desta forma, o componente físico escolhido foi um microcontrolador.

Um microcontrolador é um circuito integrado que pode ser programado para operações específicas, através de componentes de lógica e aritméticos. Para além destes componentes, também integra, diversos tipos de memória (de leitura e escrita para armazenamento de dados, de leitura para armazenamento de programas) e dispositivos periféricos como conversores analógico-digitais e interfaces de entrada e saída de dados [81].

O microcontrolador escolhido para o caso de estudo foi então o PIC24FJ128GA010 da *Microship Technology*.

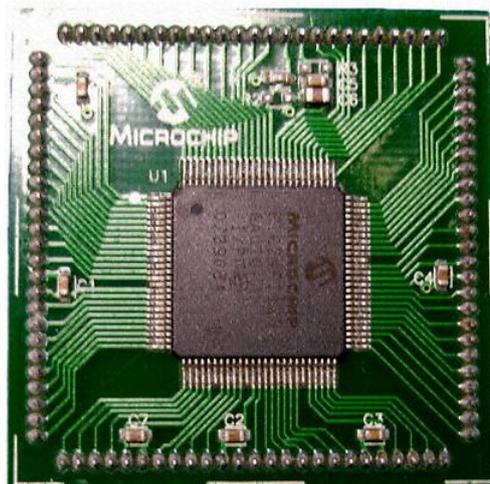


Figura 4–8 - Aspeto físico do microcontrolador PIC24FJ128GA010 da *Microship Technology* [82].

A escolha do uso deste microcontrolador é justificada abaixo, com recurso a uma sintetização das características mais importantes para o funcionamento do módulo de lógica do dispositivo ST [81]:

- O microcontrolador contém 128 kb de *program memory*, suficientes para os algoritmos de tarifários;
- Tem um baixo consumo elétrico (2-3.6 v);
- Número elevado de entradas e saídas;
- Contém 5 *timers*, mais do que suficientes para a contabilização de diferentes períodos de preços;
- É munido de um *Real-time-clock-calendar*, que consiste num circuito integrado que permite ao microcontrolador manter-se sincronizado com o tempo real. Esta função é normalmente usada em dispositivos que necessitem de se manter sincronizados com o tempo real;
- Pode funcionar em *sleep mode*.

Para que seja possível a ligação direta do microcontrolador a um computador por ligação *Universal Serial Bus* (USB), é necessária a existência de um *interface Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART) -USB.

Um UART é um transmissor universal assíncrono, contido no microcontrolador, que permite a transmissão de dados de forma bidirecional [83].

Como o microcontrolador escolhido não vem munido de um interface de dados para USB, a solução passa pela ligação do circuito UART presente no microcontrolador, a um circuito de interface de dados para USB. Uma solução para este interface pode ser dada pelo circuito integrado FT232R da *FTDI chip* [84].

4.4 - SmarTraffic: Segunda solução para a Arquitetura Física

A segunda solução encontrada para a arquitetura física do dispositivo ST recaiu sobre um módulo de comunicação e lógica integrada. A este tipo de circuito integrado dá-se o nome de *System on Chip (SoC)*.

Um SoC consiste num circuito que integra todos os componentes de um computador ou outros sistemas eletrónicos num só circuito [85]. Para o desenvolvimento do dispositivo foi escolhido o SoC EM351 da marca *Silicon Labs*.

Este circuito integrado, destina-se a ser usado em aplicações alvo, tais como [86]:

- Aplicações na área de energia, nomeadamente tecnologias domiciliárias;
- Controlo e automação de edifícios;
- Controlo e automação de habitações;
- Segurança e monitorização;
- Rede de sensores sem-fios ZigBee.

É necessário referir que mesmo com a solução apresentada nesta secção, é necessário ainda ter o interface *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) -Universal Serial Bus (USB)*, garantido pelo circuito integrado FT232R.

Os principais constituintes deste circuito integrado são [86]:

- Um módulo de comunicação capaz de comunicar com os protocolos ZigBee e 802.15.4;
- Um microprocessador, com grande capacidade de armazenamento de dados e de processamento de informação;
- Dois osciladores e dois *timers*, essenciais para a delimitação dos períodos de preços;
- Tem um sistema de gestão avançado de baixo consumo.

4.5 - SmarTraffic: Solução final para a arquitetura física

A solução final para a arquitetura física do dispositivo SmarTraffic recaiu sobre módulo de comunicação e de lógica combinada, nomeadamente o *System on Chip (SoC) EM351* da *Silicon Labs*.



Figura 4—9 - Aspeto físico do SoC EM351 da *Silicon Labs* [87].

A justificação para a escolha do circuito integrado EM351 recaiu sobre dois fatores. O primeiro prende-se com a constituição do mesmo. O facto de combinar tanto o módulo de

lógica assim como de comunicação num só circuito, por si só já é considerada uma vantagem. Como se verifica, em apenas um circuito, é possível ter a junção das características apresentadas na solução da secção 4.3.

O segundo fator está associado com o preço do módulo comparativamente à alternativa inicialmente escolhida, módulo sem-fios e microcontrolador, demonstrado na secção 4.3. Nas tabelas apresentadas abaixo, estão representados os preços destes três componentes e é feita uma comparação dos preços das duas soluções:

Tabela 4–2 - Preço da primeira solução referente à arquitetura física do dispositivo SmarTraffic [88, 89].

Solução microcontrolador/módulo de comunicação sem-fios	Preço
Microcontrolador	4.94 €
Módulo de comunicação sem-fios	18.71 €
Total	23.65 €

Tabela 4–3 - Preço da segunda solução referente à arquitetura física do dispositivo SmarTraffic [90].

Solução EM351	Preço
SoC EM351	7.79 €

4.6 - Resumo

Na Secção 4.1, foi possível fazer o desenvolvimento do caso de estudo, onde foram identificados e justificados pela revisão de literatura todos os campos associados ao desenvolvimento do mesmo. Assim, foi feita posteriormente a descrição de funcionamento do dispositivo.

Na secção 4.2, foi desenvolvida a arquitetura lógica do ST. Foi desenvolvida toda a lógica inerente ao dispositivo que se encontra distribuída pelos diferentes módulos do ST, módulo de comunicação e de lógica e tratamento de dados.

Nas secções seguintes, 4.3 e 4.4, foram identificadas duas soluções para a arquitetura física do ST. Na secção 4.3, foi identificada uma solução distribuída pelos dois módulos, onde foi identificado um componente para cada módulo do dispositivo.

Na secção 4.4, foi identificada a segunda solução para a arquitetura física, sendo esta uma solução conjunta tanto para o módulo de comunicação assim como o módulo de lógica e tratamento de dados.

Por fim é identificada a solução final para a arquitetura física do aparelho entre as duas soluções previamente definidas, sendo posteriormente justificada essa escolha.

Capítulo 5

SmarTraffic: Análise funcional, de eficácia e custo do equipamento

Neste capítulo, será feita uma análise técnica, de custo e funcional do equipamento SmarTraffic (ST). Na secção 5.1 será mostrado um estudo de quais os segmentos de clientes que podem ser abrangidos pelo produto e quais os eletrodomésticos que devem ser usados em conjunto com o ST. Na secção 5.2, será feita uma estimativa do preço de venda do equipamento baseada no seu custo unitário.

As secções 5.3 e 5.4 demonstrarão respetivamente uma comparação com produtos similares existentes no mercado e na segunda, uma estimativa da eficácia do equipamento.

5.1 - SmarTraffic: Identificação dos diferentes segmentos englobados pelo equipamento

Nesta Secção, serão identificados os principais segmentos de clientes a quem o caso de estudo se aplica, assim como quais os principais eletrodomésticos que em uso conjunto com o caso de estudo, permitem atingir uma maior poupança elétrica ao consumidor. Com base nesta identificação anterior, é feita por fim, uma classificação de qual o melhor local da habitação para se colocar o dispositivo desenvolvido como caso de estudo.

5.1.1 - Segmento de clientes

Um dos objetivos associados ao equipamento SmarTraffic (ST) está relacionado com a sua acessibilidade tanto económica assim como no que diz respeito ao *feedback* feito pelo ST. Na Secção 4.1.1, é definido que o ST é um equipamento com um modo de *feedback* de ambiente e um tipo de *feedback* direto. Este modo de *feedback*, é caracterizado pelo envio de informação em forma de alertas, onde o objetivo é alertar o consumidor de que algo relevante para o seu fornecimento acabou de mudar. Normalmente a principal fonte de informação não são números ou letras, mas sim alertas, seja a nível sonoro ou visual. Devido

à informação ser enviada por um estímulo visual ou sonoro, a mesma terá de ser simples e acessível a qualquer consumidor. O grande objetivo de um dispositivo de ambiente assenta então na sua capacidade de envio de informação relevante e acessível ao consumidor sem que este precise de estar atento à mesma para a entender e processar.

No caso do ST, esse modo de *feedback* é feito através de um estímulo visual. Recorrendo a uma lógica idêntica aos semáforos de tráfego automóvel, este equipamento diferencia em três períodos os preços diários da eletricidade, dividindo-os em períodos baratos (acende o *Light-emitting diode* (LED) verde), intermédios (acende o LED amarelo) e caros (acende o LED vermelho).

O facto de o equipamento usar uma lógica de atuação familiar à maior parte da população (semáforo automóvel) e a informação associada ao estímulo visual completar a informação coincidente com essa lógica, torna o *feedback* do ST acessível e compreensível à maior parte dos consumidores. Tal facto permite a qualquer tipo de consumidor, seja ele mais ou menos instruído, de uma faixa etária mais alta ou baixa, receber a informação e sem grande dificuldade entendê-la e processá-la. Concluindo, o ST, permite abranger um grande segmento de clientes, principalmente devido ao seu baixo valor monetário e à forma como o *feedback* é conseguido pelo aparelho.

5.1.2 - Segmento de aparelhos domiciliários

Na subsecção 3.1.1, foi analisado o novo Plano de Eficiência Energética, onde são caracterizados os principais sectores onde se pode conseguir um maior potencial de eficiência energética, sendo estes, o setor dos imóveis de habitação, os transportes e o setor terciário.

Segundo o Guia de Eficiência Energética Nacional, os setores identificados no parágrafo anterior, são os sectores com maior peso no consumo energético em território nacional. A figura 5-1 corrobora este facto, mostrando o peso que cada sector tem para o consumo total de energia em Portugal [90]:

PESO DOS SECTORES NO CONSUMO DE ENERGIA %

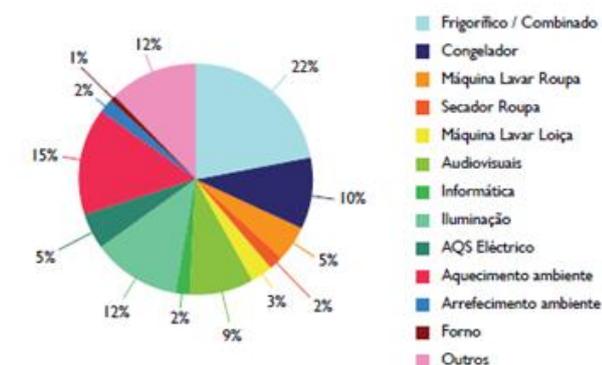
	1990	2008
Indústria	35,4	29,5
Transportes	30,7	36,3
Sector Doméstico	20,8	16,8
Serviços	6,7	11,5
Agricultura	4,9	2,4
Construção e Obras Públicas	1,5	3,4
TOTAL	100,0	100,0

Fonte: DGE - Direcção Geral de Energia e Geologia

Figura 5—1 - Peso dos diferentes setores da sociedade no consumo global de energia [90].

Referindo mais concretamente o setor doméstico, os principais responsáveis pelo consumo elétrico numa habitação são, os eletrodomésticos presentes na mesma, aquecimento e a iluminação [90].

Para se perceber qual o melhor local a colocar o dispositivo ST, torna-se essencial perceber qual o contributo dos diferentes aparelhos existentes em casa para o consumo final de uma habitação. Assim, na figura 5-2, é possível então observar a repartição dos consumos de eletricidade pelos diferentes usos finais no setor doméstico [90]:



Fonte: DCEG/IP-3E, Eficiência Energética em Equipamentos e Sistemas Eléctricos no Sector Residencial, Abril 2004

Figura 5—2 - Repartição dos consumos de eletricidade pelos diferentes usos finais no setor residencial [90].

É necessário verificar quais os eletrodomésticos ou outros aparelhos utilizados em casa que em uso conjunto com o dispositivo SmarTraffic, permitam uma maior redução da tarifa eléctrica do consumidor. Entre os aparelhos presentes na habitação podem ser identificados para o efeito, a máquina de lavar roupa, a máquina de secar roupa, a máquina de lavar a loiça, os aparelhos audiovisuais (televisão, aparelhagem, rádio) e a iluminação.

O objetivo do ST é permitir aos consumidores, alterarem os seus padrões de consumo, consoante incentivos de preços. Devido a este facto, aparelhos presentes na habitação como frigorífico ou aquecimento não estão contidos nos aparelhos que podem ser usados em conjunto com o caso de estudo, pelo facto de ser necessário um nível de automação superior para o controlo neste tipo de situações. Porém, este tipo de casos podem ser usados em conjunto com o ST numa perspectiva futura, onde através tanto da arquitetura física como de lógica presente no SmarTraffic é possível desenvolver outros dispositivos que permitem uma interação tanto com o frigorífico assim como com o aquecimento.

Pela análise feita nos parágrafos anteriores, é então possível concluir, que a maior parte dos aparelhos ou eletrodomésticos a serem usados de forma conjunta com o caso de estudo se encontram normalmente na cozinha. Assim, um bom local para se ter uma boa efetividade do SmarTraffic, será a cozinha.

5.2 - SmarTraffic: Custo estimado do equipamento

Na secção 4.5, foi identificada a solução final para a arquitetura física do SmarTraffic (ST), onde a solução final recaiu sobre uma solução conjunta para o módulo de lógica e de comunicação através do EM 351 da *Silicon Labs*. Este componente é o único comum aos dois módulos do ST. O módulo de lógica e tratamento de dados é então constituído apenas por um elemento, o *System on Chip* (Soc) EM 351 da *Silicon Labs*.

O módulo de comunicação, é constituído por mais um elemento além do EM 351, que é o interface *Universal asynchronous receiver transmitter* (UART)/ *Universal Serial Bus* (USB) da *FTDI chip*. Apesar de na secção 4.5, não se ter em conta o interface UART/ USB em nenhum dos módulos, aqui foi decidido para efeitos de custo, adiciona-lo ao módulo de comunicação.

Por fim, para efeitos de custo, aparece um novo módulo do SmarTraffic (ST), chamado de módulo intermutável. Este módulo, engloba todos os componentes que intervêm no *feedback* do ST e no seu processo de atualização sendo os mesmos intermutáveis, ao contrário dos

constituintes dos módulos de lógica e de comunicação do equipamento (Figura 5-3). Este módulo é então constituído por:

- Três *Light-emitting diode's* (LED's) (um verde, um amarelo e um vermelho);
- Um LCD;
- Um recetáculo exterior micro-USB;
- Cabo USB.

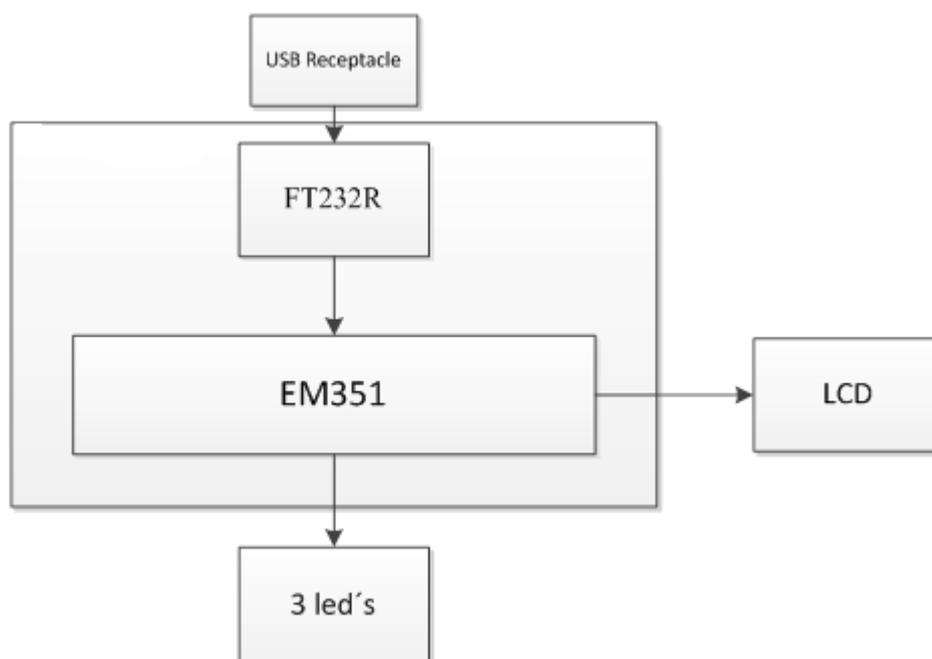


Figura 5—3 - Diagrama com os diferentes fluxos de informação entre os principais constituintes do ST.

Para a estimativa do preço venda do produto, que é baseada no seu custo unitário, serão tidos em conta todos os constituintes dos três módulos identificados até então. O LCD (Figura5-4) contribuí de forma significativa para o custo do produto ao contrário dos LED's. Desta forma, dos constituintes responsáveis pelo módulo intermutável, apenas o LCD, o recetáculo micro-USB e o cabo vão entrar no cálculo do custo do equipamento.



Figura 5—4 - Possível Aspeto físico do modelo de LCD proposto [91].

Através da identificação dos principais constituintes agregados aos três módulos, é possível estimar um preço médio unitário do equipamento desenvolvido:

Tabela 5—1 - Custos dos principais constituintes que fazem parte dos três módulos do SmarTraffic.

Descrição	Nome	Preço
Interface UART-USB	FT232R	4,01 €
LCD	-	6,89 €
Recetáculo micro-USB	-	1,10 €
SoC	EM351	7,79 €
Cabo	-	1,50 €

É de referir que todos os componentes intermutáveis, tais como o LCD, o recetáculo micro-USB e o cabo são representados por um valor médio. Pela análise da tabela colocada acima, pode-se contabilizar que o preço dos principais constituintes escolhidos, atinge um valor de 21.29 €. Assumindo que o encargo com a montagem do produto, com o circuito de alimentação e com a caixa atinge um valor de 40% sobre o custo dos principais componentes, temos que:

$$P_u = 21.29 + 21.29 \times 0.4 = 29.8\text{€}, \quad (5.1)$$

Onde, P_u é o custo total com uma unidade do produto.

No que diz respeito às despesas, que é onde estão situados todos os encargos associados à venda do produto, assume-se um valor de 30% do custo total por unidade de produto, ou seja:

$$D = 29.8 \times 0.3 = 8.94\text{€}, \quad (5.2)$$

Onde, D são as despesas relativas à venda do produto.

Por fim, define-se a margem de lucro (M_L), assumindo para este produto, uma margem de lucro na ordem dos 30% do custo total por unidade do produto:

$$M_L = 29.8 \times 0.3 = 8.94\text{€}, \quad (5.3)$$

Assim, o preço de venda será igual à soma dos três índices calculados anteriormente:

$$P_v = P_u + D + M_L = 29.8 + 8.94 + 8.94 = 47.68\text{€}, \quad (5.4)$$

Onde, P_v representa um possível preço de venda do dispositivo ST.

5.3 - SmarTraffic: Análise comparativa de funcionalidades

Tal como é referido na Secção 3.2, a introdução das redes e contadores inteligentes, irá permitir o aparecimento de novos serviços no mercado elétrico, nomeadamente novos tarifários. A principal motivação para o desenvolvimento do caso de estudo, prende-se então com a necessidade de uma reaprendizagem do uso da eletricidade, nomeadamente no setor domiciliário, onde através do uso do SmarTraffic (ST) é possível criar-se uma ponte constante e em tempo real entre o consumidor e estes novos serviços e tarifários contidos nos contadores inteligentes. Já se encontram presentes no mercado, alguns produtos com um modo de *feedback* e funcionamento parecido com o ST.

A empresa *Ambient Devices*, apresenta neste momento duas soluções de dispositivos de ambiente, sendo estas a *Energy Orb* e a *Energy Joule* [92]:

- A *Energy Orb* (Figura 5-5), é uma bola de vidro que varia a sua cor consoante as condições de preço ao longo do dia. Fornece também através de um LCD, o preço do período atual de consumo, o preço mais alto do dia e a quantidade de energia que está a ser gasta a cada momento. A empresa comercializadora põe ao dispor do consumidor, uma rede de comunicação própria para partilha de informação de preço. Este produto tem ainda uma versão, onde a comunicação é garantida por um módulo ZigBee para ser usado em programas próprios de operadores da rede [92];



Figura 5—5 - Aspeto físico da *Energy Orb*, da empresa *Ambient* [92].

- A *Energy Joule* (Figura 5-6), tem praticamente o mesmo tipo de funcionamento que a *Energy Orb*. As únicas diferenças são, o *design* do aparelho e o local de extração de informação, que é sempre feita a partir do contador inteligente (sempre feita por ZigBee) [92].



Figura 5—6 - Aspeto físico do *Energy Joule*, da empresa *Ambient* [92].

No entanto existem alguns problemas relativos à sua flexibilidade e interoperabilidade seja para uso individual ou num projeto-piloto. Este tipo de dispositivos necessita de um *feedback* direto para o seu funcionamento. Nesse contexto, só com a instalação de contadores inteligentes ou com uma grande cobertura de uma rede de comunicação própria por parte da empresa comercializadora do produto, é que estes dispositivos poderão funcionar de forma efetiva. Nos Estados Unidos da América, devido há já implementação de *Advanced Metering Infrastructure (AMI)*, o que inclui os contadores inteligentes, permite que estes dispositivos já tenham sido usados em alguns projetos-piloto [92].

Inicialmente, os dispositivos da *Ambient Devices*, eram vendidos individualmente a um preço de 68,90 €. Porém, estes já não são vendidos individualmente ao público. Tal facto está relacionado com a pouca flexibilidade do aparelho em relação aos diferentes tarifários e serviços adotados por diferentes operadores do setor. Neste momento a empresa trabalha exclusivamente com operadores do setor, onde produzem em larga escala de forma a auxiliar projetos-piloto dos mesmos [93].

No que diz respeito à comunicação e lógica, tanto a *Energy Orb* como o *Energy Joule*, usam o mesmo circuito integrado, que foi também o escolhido para o caso de estudo, o EM301 da *Silicon Labs* [94].

O ST, é caracterizado por ser também um dispositivo de ambiente, tendo algumas funcionalidades idênticas aos dois dispositivos descritos acima, onde podem ser caracterizadas as seguintes:

- O modo de *feedback* é o mesmo, através de estímulo visual (no caso do ST através de LED's de diferentes cores);
- Apresenta a informação referente ao preço do período horário;
- Extrai informação do contador inteligente de forma periódica.

No entanto, o ST apresenta algumas funcionalidades únicas:

- Disponibilização do tempo para o final de cada período de preço;
- O ST tem contido os algoritmos referentes aos tarifários, e assim torna-se um dispositivo mais flexível na medida em que para o seu funcionamento apenas precisa de saber o tarifário do consumidor e o preço da eletricidade no início do período (não necessita de uma rede de comunicação própria para estar atualizado);
- É possível uma atualização do conteúdo interno de lógica através duma entrada micro-USB, que permite assim que seja usado por clientes individuais assim como por operadores de setor com semelhante efetividade. Esta funcionalidade, permite promover competitividade e acima de tudo fazer com que o ST seja um dispositivo interoperável com qualquer tipo de serviço ou tarifário de qualquer operador do setor elétrico nacional.

A maior parte dos consumidores não pretende um dispositivo de difícil manuseamento ou interpretação. Assim a quantidade de informação enviada para o mesmo tem de ser mínima, mas assertiva no que diz respeito à sua interpretação e complementaridade. O *feedback* do

ST, foi então escolhido pensando numa lógica de aprendizagem e de complementaridade de informação. Quando o consumidor verifica qual o LED aceso, consegue automaticamente saber através dos dois LCD's presentes no dispositivo, quanto tempo falta para terminar o período e o preço da eletricidade presente no mesmo. Desta forma, o consumidor irá perceber de uma vez só, se é uma hora boa ou má para consumir, se tem tempo para consumir certas cargas ou quanto tempo terá de esperar para as consumir e quanto custa afinal a eletricidade que consome.

A decisão da não inclusão do valor de energia consumida pelo cliente no *feedback* feito pelo ST, partiu do estudo da rede InovGrid em Évora. A EDP, a partir da instalação dos contadores inteligentes, garante o serviço de *feedback* indireto aos seus consumidores ou seja, apresenta ao consumidor o seu consumo exato, ao longo do mês a partir do site da EDP e no final do mesmo a partir da tarifa elétrica apresentada ao consumidor. Isto faz com que não seja necessário o ST fornecer este tipo de informação [24].

O funcionamento do ST e a disponibilização desse *feedback* por parte da EDP complementam-se. Através de uma leitura diária do ST, o consumidor altera os seus hábitos de consumo, torna o seu consumo mais eficiente e constrói uma base de perceção dos preços associados à sua energia. No final do mês o cliente observa a sua tarifa, onde pode estabelecer uma base comparativa de quanto as suas ações tiveram efeito na descida tanto do valor a ser pago na mesma assim como no consumo da sua eletricidade.

5.4 - SmarTraffic: Possível eficácia do equipamento

A *Energy Orb*, tem sido a principal escolha no auxílio à implementação de diversos programas de medição avançada, com introdução de tarifas ligadas aos programas de condicionamento da procura. Este dispositivo, encontra-se atualmente em uso em diversos programas de operadores de setor elétrico dos Estados Unidos, tais como [95]:

- ***Southern California Edison (SCE)*** - este programa tem o nome de *Information Display Pilot*, e tem como principal objetivo a redução de consumo elétrico em alturas de pico de eletricidade. As tarifas associadas são consequentemente as de preço de pico crítico. Neste piloto cerca de 70% dos consumidores residenciais e 65% dos consumidores comerciais e industriais tomaram ações de poupança em alturas de pico, usando apenas a *Energy Orb* como modo de *feedback*, sendo este feito de forma direta [96];
- ***Baltimore Gas and Electric (BGE)*** - este projeto-piloto foi implementado no verão de 2008, com o nome de *Smart Energy Pricing*, tendo englobado cerca de 1375 consumidores, sendo a sua duração entre 1 de Junho e 30 de Setembro de 2008. Foram testados dois tipos de tarifários, nomeadamente uma tarifa de preço dinâmico de pico e uma tarifa de desconto de tempo de pico. A primeira opção de tarifa, consiste numa aproximação ao tarifário de tempo de pico crítico apresentada na subsecção 3.2.2. Neste caso, o preço de pico, cuja duração ia das duas às sete da tarde, durante um pequeno número de dias chamados de dias de pico crítico, foi aumentado cerca de 9 vezes em comparação com o preço normal de eletricidade. No

período fora de pico, a tarifa foi baixada em cerca de seis cêntimos por kW/h. Nos dias que não eram de pico crítico, os consumidores usavam uma tarifa de tempo de uso de dois períodos. A segunda opção de tarifa chamada de desconto de preço de pico, consiste na obtenção de um desconto por menor uso de eletricidade em períodos de pico. Durante todo o projeto, foram identificados 12 dias de pico crítico, sendo a informação de quando iam acontecer, dada ao consumidor no dia anterior. Na ausência da *Energy Orbs*, a poupança adquirida durante os dias de pico crítico foi entre os 18 e os 21%. Com a introdução da *Energy Orb*, as poupanças durante os dias de pico crítico aumentaram para valores entre 23 a 27% [97];

- **ComEd / Exelon** - este projeto-piloto foi implementado entre Maio de 2007 e Outubro de 2008, com o nome de *PriceLight Demonstration Project*. O tipo de tarifa usada neste caso foi uma tarifa de tempo real. Este tipo de tarifa é caracterizada pela variação horária do preço da eletricidade. A *Energy Orb*, através de uma ligação por pager, recebia os dados referentes aos preços da eletricidade e fornecia esse *feedback* ao consumidor. O uso deste tipo de tarifário juntamente com a *Energy Orb*, permitiu uma diminuição da tarifa elétrica na ordem dos 10% [93].

Como se pode concluir pela avaliação dos resultados adquiridos com a *Energy Orb* nos projetos-piloto identificados nesta secção, a aceitação dos clientes à forma de *feedback* deste equipamento pode ser considerada boa. Em média, 70% das situações que ocorreram de pico de eletricidade, os clientes tomaram efetivamente medidas de poupança, usando apenas a *Energy Orb* como meio de *feedback*. Foi também possível concluir que para diferentes tarifários de condicionamento da procura, se conseguiram atingir percentagens de poupança bastante satisfatórias.

5.5 - Resumo

Na Secção 5.1, foi feito um estudo em relação ao segmento de consumidores que podem ser englobados pelo ST. Foi também feito um estudo em relação ao segmento de aparelhos domiciliários que podem ser usados de forma efetiva com o mesmo e qual o melhor local onde o dispositivo pode ser situado a fim de promover uma maior poupança na tarifa elétrica final do consumidor.

A secção 5.2 apresenta uma estimativa do custo relacionado com o ST, sendo feita posteriormente uma previsão do preço de venda do produto baseado no seu custo unitário.

Na secção 5.3, foi feita uma cobertura das funcionalidades de dois aparelhos de funcionamento similar ao ST. Posteriormente, foi feita a comparação com as funcionalidades do ST, onde são identificadas quais as funcionalidades acrescidas que o caso de estudo tem em relação aos aparelhos identificados como similares ao mesmo.

Por fim, na secção 5.4, foi analisada a efetividade dos dois aparelhos da *Ambient Devices*, de forma a estabelecer uma base comparativa para demonstrar a possível efetividade do equipamento desenvolvido como caso de estudo.

Capítulo 6

Conclusões e Possíveis Trabalhos Futuros

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões a retirar deste trabalho, bem como possíveis passos a seguir no futuro no que diz respeito ao dispositivo SmarTraffic (ST).

6.1 - Conclusões

Neste trabalho foram apresentadas e identificadas as principais transformações que estão neste momento a ocorrer no setor elétrico e, como resposta às mesmas, foi identificado um novo segmento de produtos chamados de aparelhos domiciliários. Feita esta exposição, procedeu-se ao desenvolvimento de uma ideia de produto referente a um aparelho domiciliário, de forma a responder às exigências do futuro contexto energético.

No capítulo 2, ficou demonstrado que, com a implementação das novas redes e contadores inteligentes, a rede elétrica fica munida da possibilidade de trocas de informação em tempo real entre consumidores e operadores do sector, ao mesmo tempo que fica provida de uma maior automatização e monitorização no que diz respeito aos seus ativos.

Por consequência, os contadores inteligentes através da sua capacidade de comunicação em tempo real bidirecional (possibilitada pelo módulo de comunicação *Home Area Network* (HAN) e da possibilidade de apoio à gestão da microgeração) assumem-se como uma ferramenta essencial para uma participação mais ativa do consumidor no setor elétrico.

Contudo, para se atingir essa maior intervenção do consumidor no setor elétrico, não basta apenas a transformação e modernização das principais infraestruturas da rede. Na verdade, conforme é explicado na subsecção 3.1.2, são também necessárias transformações ao nível do funcionamento do mercado elétrico, nomeadamente através da desregulação e desverticalização do setor, incrementando a competitividade e, conseqüentemente, estimulando o aparecimento de novos serviços de eletricidade. Uma opção de escolha mais alargada para o consumidor amplia-lhe o seu poder de decisão.

Esta redefinição do papel do consumidor no mercado energético implica, naturalmente, uma mudança dos hábitos de consumo através de incentivos (referentes ao funcionamento do mercado ou à oscilação preços). Isto leva-nos à secção 3.2, onde são caracterizados um conjunto de serviços que, através de um *feedback* adequado ao consumidor, induzem um determinado comportamento no mesmo: os programas de Condicionamento da Procura.

Ora, um dos objetivos intrínsecos à ideia de produto desenvolvida neste trabalho consiste precisamente em dar ao consumidor um *feedback* em função de mudanças do preço da eletricidade. Assim, foi concluído na mesma secção que os tipos de tarifários mais adequados à ideia de produto apresentada, são os tarifários de tempo real e os de tempo de uso.

No que diz respeito ao *feedback*, após ser feita uma identificação e caracterização dos tipos e modos existentes (secção 3.3), foi possível concluir que o modo de *feedback* mais acessível e concordante com os objetivos para o desenvolvimento da ideia do produto é um modo de *feedback* de dispositivo de ambiente (secção 3.3.2). Quanto ao tipo, a análise de estudos de implementação de *feedback* ao consumidor mostrou que, para uma maior poupança energética, o tipo de *feedback* mais eficaz é o direto.

Consequentemente, no Capítulo 4, mais concretamente na secção 4.1 foi feita a descrição de funcionamento do SmarTraffic (ST), de acordo com todas as conclusões para o seu funcionamento retiradas dos capítulos anteriores. Foi também desenvolvida a arquitetura lógica e física do dispositivo, onde nomeadamente na subsecção 4.3.1, concluiu-se que a melhor forma de comunicação entre o ST e o contador é através da tecnologia de comunicação ZigBee e foi também possível identificar um componente físico real para ser usado no módulo de comunicação. No que diz respeito ao módulo de lógica, que foi abordado na secção 4.3.2, foi também possível fazer uma identificação dos seus principais constituintes. Posteriormente, na secção 4.4, foi encontrada outra solução para a arquitetura física do aparelho, sendo esta escolhida como solução final, devido a esta ser a alternativa mais económica e mais compacta de entre as duas.

No Capítulo 5, foi feita uma análise funcional, de eficácia e custo da ideia de produto. Na secção 5.1, foram identificados quais os possíveis segmentos de clientes que poderiam usufruir do caso de estudo assim como os eletrodomésticos que usados em conjunto com o *feedback* dado pelo dispositivo, permitem atingir uma maior poupança na tarifa elétrica. Como a interação do ST é feita maioritariamente com aparelhos presentes na cozinha, foi concluído que o melhor local na casa para o aparelho é efetivamente a cozinha.

Em relação à análise do custo estimado do dispositivo, foi possível concluir na secção 5.2, que a ideia de produto, é mais económica que o valor apresentado por outros aparelhos já presentes no mercado. A secção 5.3, apresenta as novas funcionalidades em relação a aparelhos de funcionamento similar. Dentro destas destaca-se a possibilidade de atualização de lógica associada ao dispositivo e o facto de os algoritmos referentes ao tipo de tarifário estarem dentro do dispositivo, desta forma, não é necessária uma rede própria de comunicação ou de pertencer a um programa de um operador do setor, basta o consumidor escolher o tarifário pretendido e usar o dispositivo para auxílio do mesmo.

Por fim, foi feita a análise na secção 5.4, de três estudos piloto referentes à introdução de programas de condicionamento da procura. Através desta análise, foi possível concluir que, a utilização destes programas, associados com um dispositivo com características similares no modo e tipo de *feedback* ao desenvolvido, permite atingir uma percentagem de poupança considerável de energia. Foi também verificado que a utilização deste tipo de tarifários, sem o dispositivo em concreto, permitia uma poupança inferior aquela atingida com a junção do mesmo.

6.2 - Possibilidades de Trabalho Futuro

O objetivo principal desta dissertação, passou pela construção de uma ideia de um produto associado aos aparelhos domiciliários do setor energético. Nesse sentido, foram definidas diversas características associadas ao mesmo, como modo e tipo de *feedback*, quais os tipos de tarifários elétricos que podem ser associadas ao seu funcionamento e desenvolvimento da sua arquitetura lógica e física.

Neste sentido, um dos pontos a desenvolver no futuro, passa pela construção de um protótipo do produto, onde é necessário fazer um desenvolvimento do software associada ao SmartTraffic (ST), de acordo com os requisitos de funcionamento apresentados nas subsecções 4.2.1 e 4.2.2. e proceder-se à construção do dispositivo, através do auxílio dos principais componentes referenciados nas subsecções 4.3.1, 4.3.2 e secção 4.4.

Os outros pontos a desenvolver no futuro, remetem-se a oportunidades para novos produtos na área de aparelhos domiciliários. Devido à forma de construção do dispositivo, que é constituído por um módulo de comunicação, responsável pela troca de informação com o contador e por um módulo de lógica, que trata dos dados recebidos pelo módulo de comunicação, podem ser desenvolvidos novos produtos, onde só se precisam de fazer, pequenas alterações referentes à arquitetura lógica e física do ST.

Sendo assim, podem-se identificar algumas alternativas:

- **Termóstato regulador automático de temperatura:** este termóstato, a partir do seu módulo de comunicação, recebe informação do contador inteligente, onde através do mesmo estruturamento de preços feito pelo ST, altera a temperatura de forma programada pelo consumidor no próprio termóstato. Esta alteração de temperatura, é feita consoante o período de preço da eletricidade. Onde, quando o preço do período é alto, o termóstato baixa a temperatura da casa para um valor programado e vice-versa;
- **Cilindro:** através da junção do módulo de comunicação e de lógica do ST, um cilindro pode ser programado para funcionar apenas em alturas de baixo preço;
- **Tomadas de funcionamento automático:** através do uso da mesma arquitetura física do ST e de lógica de tratamento de dados, podem ser desenvolvidas tomadas ou adaptadores para tomadas, onde só quando o preço é baixo ou intermédio, permitem a transmissão de corrente para certos aparelhos domésticos (Ex: máquina de lavar a louça, máquina de lavar a roupa, máquina de secar roupa, etc);
- **Tomadas controladas remotamente:** neste caso, torna-se necessária a mudança do módulo de comunicação ZigBee para um módulo Wi-Fi. O consumidor, através de uma página web, poderia escolher de forma remota, quais a tomadas que queria colocar em serviço a uma certa altura do dia de forma remota.

Referências

- [1] SmartGrids, E.T.P., Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future, 2005, Comissão Europeia. p. 22
- [2] Messias, A.A., InovGrid. Redes Inteligentes de Distribuição, in Energias Renováveis 2011, EDP: Lisboa
- [3] Ipakchi, A.; Albuyeh, F.; , "Grid of the future," Power and Energy Magazine, IEEE , vol.7, no.2, pp.52-62, Março-Abril 2009
- [4] Niyato, D.; Ping Wang; , "Cooperative transmission for meter data collection in smart grid," Communications Magazine, IEEE , vol.50, no.4, pp.90-97, Abril 2012
- [5] Carrapatoso, A.M. e F.M. Gomes, Projecto InovGrid - A evolução da rede de distribuição como resposta aos novos desafios do sector eléctrico, 2008, EDP
- [6] V.C. Gungor, F.C. Lambert, A survey on communication networks for electric system automation, Computer Networks, Volume 50, Issue 7, 15 Maio 2006, Pages 877-897
- [7] Piagi, P. e R.H. Lasseter. Autonomous control of microgrids. in Power Engineering Society General Meeting. IEEE. 2006
- [8] Silva, N., Smart Grids projects: From development to deployment. A learning experience, em Back to Basics 2012, EFACEC: Feup
- [9] State of Green, "Smart Grids", Disponível em www.stateofgreen.com -> Intelligent Energy -> Smart Grids
- [10] EDP Distribuição S.A., "InovGrid", Disponível em www.edpdistribuicao.pt -> InovGrid, Rede inteligente de energia,
- [11] Office of Electricity Delivery & Energy Reliability, "Smart Grid", Disponível em energy.gov/oe/office-electricity-delivery-and-energy-reliability -> Services -> Technology Development -> Smart Grid
- [12] Forum, W.E. e Accenture, Accelerating Successful Smartgrid Pilots, 2010
- [13] Rahman, M.M.; Mto, A.; , "Technologies required for efficient operation of a smart meter network," Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2011 6th Conferência IEEE em , vol., no., pp.809-814, 21-23 Junho 2011
- [14] Xu Wei; Zhou Yu-hui; Zhu Jie-lin; , "Energy-efficient distribution in smart grid," Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SUPERGEN '09. Conferência Internacional em, vol., no., pp.1-6, 6-7 Abril 2009
- [15] Kalogridis, G.; Efthymiou, C.; Denic, S.Z.; Lewis, T.A.; Cepeda, R.; , "Privacy for Smart Meters: Towards Undetectable Appliance Load Signatures," Smart Grid Communications

- (SmartGridComm), 2010 Primeira Conferência Internacional IEEE em, vol., no., pp.232-237, 4-6 Outubro 2010
- [16]ERSE, Funcionalidades mínimas e plano de substituição dos contadores de energia elétrica - proposta a apresentar ao governo português no âmbito do plano de compatibilização regulatória (MIBEL), 2007
- [17]Darby, S., Smartmetering: what potential for householder engagement? Building Research & Information, 2010. 38(5): p. 442-457
- [18]SuperGEN HiDEF, "Visions of a Highly Distributed Energy Future", Disponível em www.supergen-hidef.org -> Briefing Papers -> HiDEF Smart Meter Briefing Document
- [19]Synaptitude Consulting, "Smart Grid Energy Definitions and Glossary (A-J)", Disponível em www.synaptitudeconsulting.com -> Case Studies -> Smart Grid Knowledge Center -> Smart Grid Definitions (A-J)
- [20]Haney, A.B., T. Jamasb, e M.G. Pollitt, Smart Metering and Electricity Demand: Technology, Economics and International, 2009, Electricity Policy Research Group: University of Cambridge
- [21]Gerwen, R.v., S. Jaarsma, e R. Wilhite Smart Metering. Distributed Generation, 2006. 9
- [22]Sungwook Kim; Eun Young Kwon; Myungsun Kim; Jung Hee Cheon; Seong-ho Ju; Yong-hoon Lim; Moon-seok Choi; , "A Secure Smart-Metering Protocol Over Power-Line Communication," Power Delivery, IEEE Transactions em , vol.26, no.4, pp.2370-2379, Outubro 2011
- [23]KEMA, "Estudo sobre contadores inteligentes de eletricidade e de gás natural, Relatório 1E/G: Situação actual e experiência com projectos-piloto em Portugal", Disponível em www.erse.pt -> Consultas Públicas -> 40ª Consulta Pública - Contadores Inteligentes de Eletricidade e de Gás Natural -> Apresentação para consulta pública do Estudo de Custo Benefício da implementação de contadores inteligentes de eletricidade e de gás natural -> Relatório KEMA 1E/G: Situação actual e experiência com projectos-piloto em Portugal,
- [24]Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, "Contadores Inteligentes de Eletricidade e de Gás Natural", Disponível em www.erse.pt -> Consultas Públicas -> 40ª Consulta Pública - Contadores Inteligentes de Eletricidade e de Gás Natural -> Apresentação para consulta pública do Estudo de Custo Benefício da implementação de contadores inteligentes de eletricidade e de gás natural -> Documento de consulta pública: Contadores inteligentes de eletricidade e de gás natural
- [25]Costa, A.M.d., As redes de distribuição inteligentes, 2010, EDP: Lisboa
- [26]Google, "Smart Metering Projects Map", Disponível em www.google.com -> smart meter (search) -> Smart Metering Projects Map - Google Maps (external links)
- [27]Enel, "Smart Metering System", Disponível em www.enel.com -> smart metering system (search) -> smart metering system
- [28]Laboratory, N.E.T., The NETL Modern Grid Initiative Powering our 21st-Century Economy. Modern Grid Benefits, 2007, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, U.S. Department of Energy. p. 21
- [29]Duke Energy, "A Smarter Power Grid", Disponível em www.duke-energy.com -> our company -> About Us -> Smart Grid
- [30]Greentech Media, "Top Ten Utility Smart Grid Deployments in North America", Disponível em www.greentechmedia.com -> Top Ten Utility Smart Grid Deployments in North America (search) -> Top Ten Utility Smart Grid Deployments in North America

- [31]Austin Energy, “Austin Energy Smart Grid Program”, Disponível em www.austinenergy.com -> About Us -> Company Profile -> Austin Energy Smart Grid Program
- [32]Power & Energy News, “Building for the future”, Disponível em www.nextgenpe.com -> Building for the future (search) -> Building for the future
- [33]InescTec, “InovCity está a mudar a face de Évora”, Disponível em www2.inescporto.pt -> Sistemas de Energia -> Notícias & Eventos -> Nós na Imprensa -> 19 -> InovCity está a mudar a face de Évora
- [34]EDP Distribuição, “Parceiros”, Disponível em www.edpdistribuicao.pt -> InovGrid Rede inteligente de energia -> Parceiros
- [35]Évora InovCity, “Um projeto inovador”, Disponível em www.inovcity.pt -> Rede Inteligente -> O InovGrid
- [36]Jornal Expresso, “InovCity em Évora eleito projeto de referência europeu”, Disponível em expresso.sapo.pt -> InovCity em Évora eleito projeto de referência europeu (search) -> InovCity em Évora eleito projeto de referência europeu
- [37]EFACEC, “Smart Metering Products”, Disponível em www.efacec.pt -> Automation -> Smart Metering Solutions
- [38]Lipski, M., Demand Response – Technology for the Smart Grid, 2011, Black & Veatch: Electricity Today
- [39]Carlos Coelho, “1. Porquê um pacote de medidas de combate às alterações climáticas?”, Disponível em www.carloscoelho.eu -> Dossiers -> Pacote Clima -> A. O que é o Pacote Clima -> 1. Porquê um pacote de medidas de combate às alterações climáticas?
- [40]CECAC, “O Pacote Energia-Clima”, Disponível em europa.clima.pt -> 2. O Pacote Energia-Clima
- [41]Carlos Coelho, “3. Quais as diferentes partes do Pacote?”, Disponível em www.carloscoelho.eu -> Dossiers -> Pacote Clima -> A. O que é o Pacote Clima -> 3. Quais as diferentes partes do Pacote?
- [42]Parlamento Europeu, “Parlamento Europeu fecha pacote clima-energia: “três vintes” até 2020”, Disponível em www.europarl.europa.eu -> Português -> Pesquisar em “Parlamento Europeu” -> Pacote Energia-Clima -> Parlamento Europeu fecha pacote clima-energia: “três vintes” até 2020
- [43]Comissão Europeia, “The Commission's new Energy Efficiency Plan”, Disponível em ec.europa.eu -> en -> Policies -> Energy and natural resources -> Energy policies -> energy efficiency -> Energy Efficiency Plan -> The Commission's new Energy Efficiency Plan [MEMO/11/149]
- [44]DG Energy, “A new Directive on Energy Efficiency”, Disponível em ec.europa.eu -> en -> EU Local offices and information points -> select a country -> Portugal -> Destaques -> 12 -> Nova diretiva sobre eficiência energética -> Apresentação
- [45]Comissão Europeia, “Plano de Eficiência Energética de 2011”, Disponível em ec.europa.eu -> en -> Policies -> Energy and natural resources -> Energy policies -> energy efficiency -> Energy Efficiency Plan -> Communication “Energy Efficiency Plan 2011” [COM/2011/0109]
- [46]ESMIG, “The 20-20-20 Goals”, Disponível em www.esmig.eu -> Smart Metering -> The 20-20-20 Goals

- [47]Comissão Europeia, “Redes inteligentes: da inovação à implantação”, Disponível em ec.europa.eu -> en -> Policies -> Energy and natural resources -> Energy policies -> Single market for gas & electricity -> Smart Grids -> Communication "Smart Grids: from innovation to deployment" [COM/2011/202]
- [48]IEEE, “European Union”, Disponível em smartgrid.ieee.org -> Resources -> Public Policy
- [49]Comissão Europeia, “Smart Grids”, Disponível em europa.eu -> en -> Legislation and treaties -> Summaries of EU laws -> Energy -> Internal energy market -> Smart Grids
- [50]Comissão Europeia, “REGULAMENTO DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO relativo às orientações para as infra-estruturas energéticas transeuropeias e que revoga a Decisão n.º 1364/2006/CE”, Disponível em ec.europa.eu -> en -> Policies -> Energy and natural resources -> Energy policies -> Energy infrastructure -> Priorities for 2020 -> Proposal for a Regulation on "Guidelines for trans-European energy infrastructure" [COM/2011/658]
- [51]Comissão Europeia, “COMMISSION RECOMMENDATION of 9 March 2012 on preparations for the roll-out of smart metering systems”, Disponível em eur-lex.europa.eu -> en -> EN -> OFFICIAL JOURNAL -> 2012 -> March -> L073 -> 9
- [52]Comissão Europeia, “Smart Grids Task force”, Disponível em europa.eu -> en -> Legislation and treaties -> Summaries of EU laws -> Energy -> Internal energy market -> Smart Grids -> Task Force
- [53]Santos, V., A Regulação do Sector Energético, in Seminário Internacional Portugal - Brasil 2012, ERSE
- [54]PLMJ, “O Terceiro Pacote Energético Aprovado”, Disponível em www.plmj.com -> Pesquisa Avançada -> Terceiro Pacote Energético Aprovado (pesquisa)
- [55]Comissão Europeia, “ MEMO/11/125: Questions and Answers on the third legislative package for an internal EU gas and electricity market”, Disponível em europa.eu -> Press Releases -> European Commission (Rapid database)
- [56]Comissão Europeia, “MEMO/07/362: Questions and Answers”, Disponível em europa.eu -> Press Releases -> European Commission (Rapid database)
- [57]Albadi, M.H.; El-Saadany, E.F.; , "Demand Response in Electricity Markets: An Overview," Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE, pp.1-5, 24-28 Junho 2007
- [58]Energy, U.S.D.o., Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them - A Report to the United States Congress Pursuant to Section 1252 of the Energy Policy Act of 2005/2006. p. 122
- [59]Anthony, A., Demand Response, New England Energy Innovation Collaborative
- [60]M.H. Albadi, E.F. El-Saadany, A summary of demand response in electricity markets, Electric Power Systems Research, Volume 78, Issue 11, Novembro 2008, pp. 1989-1996
- [61]Commission, F.E.R., Assessment of Demand Response and Advanced Metering, 2006. p. 240
- [62]Pipattanasomporn, M.; Kuzlu, M.; Rahman, S.; , "Demand response implementation in a home area network: A conceptual hardware architecture," Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2012 IEEE PES , vol., no., pp.1-8, 16-20 Janeiro 2012
- [63]Goran Strbac, Demand side management: Benefits and challenges, Energy Policy, Volume 36, Issue 12, Dezembro 2008, pp. 4419-4426
- [64]Wicker, S. e R. Thomas. A Privacy-Aware Architecture for Demand Response Systems. em 44th International Conference on System Sciences. 2011. Hawaii
- [65]Braithwait, S.D., K. Eakin, and L.R.C. Associates, The Role of Demand Response in Electric Power Market Design, 2002, Edison Electric Institute. p. 57

- [66]H.A. Aalami, M. Parsa Moghaddam, G.R. Yousefi, Demand response modeling considering Interruptible/Curtailable loads and capacity market programs, Applied Energy, Volume 87, Issue 1, Janeiro 2010, pp. 243-250
- [67]Ehrhardt-Martinez, K., K.A. Donnelly, e J.A. Laitner, Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities, 2010, American Council for an Energy-Efficient Economy. p. 140
- [68]Darby, S., The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption - A Review for Defra of The Literature on Metering, Billing and Direct Displays, 2006, University of Oxford: Environmental Change Institute. p. 21
- [69]Darby, S., Making it obvious: designing feedback into energy consumption, University of Oxford: Environmental Change Institute. p. 11
- [70]Zhifeng Qiu; Deconinck, G.; , "Smart Meter's feedback and the potential for energy savings in household sector: A survey," Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2011 IEEE International Conference on , vol., no., pp.281-286, 11-13 Abril 2011
- [71]L.Ting, H. Leite, e T.P. Leão, Is Advanced Real-Time Energy Metering Sufficient to Persuade People to Save Energy?, in EPJ Web of Conferences - 2nd European Energy Conference 2012. p. 6
- [72]Darby, S., Demand response: the effectiveness of feedback on energy consumption, 2009, Environmental Change Institute-University of Oxford: Estocolmo
- [73]Healey, C.G., K.S. Booth, e J.T. Enns, High-speed visual estimation using preattentive processing. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 1996. 3(2): p. 107 - 135
- [74]Wikipedia, "Pre-attentive processing", Disponível em en.wikipedia.org -> Pre-attentive processing (procura)
- [75]Wikipedia, "Wi-Fi", Disponível em en.wikipedia.org -> Wi-Fi (procura)
- [76]Wikipedia, "ZigBee", Disponível em en.wikipedia.org -> ZigBee (procura)
- [77]Software Technologies Group, "How does ZigBee compare with other wireless standards?", Disponível em www.stg.com -> ZigBee & 802.15.4 Wireless -> ZigBee versus other standards
- [78]Digi International, "XBee® 802.15.4", Disponível em www.digi.com -> Products -> Wireless and Wired Embedded Solutions -> RF Modules -> XBee RF Modules -> XBee® 802.15.4
- [79]Wikipedia, "IEEE 802.15.4", Disponível em en.wikipedia.org -> IEEE 802.15.4 (procura)
- [80]Digi International, "XBee® 802.15.4", Disponível em www.digi.com -> Products -> Wireless and Wired Embedded Solutions -> RF Modules -> XBee RF Modules -> XBee® 802.15.4 -> Documentation -> Product Manual: XBee / XBee-PRO 802.15.4 RF Modules
- [81]Microship, "PIC24FJ128GA010 FAMILY", Disponível www.microchip.com -> PIC24FJ128GA010 (pesquisa Data Sheet) -> PIC24FJ128GA010 Family Data Sheet
- [82]RS Delivers, "PIC24FJ128GA010 PIC24 100-pin PIM", Disponível em in.rsdelivers.com -> PIC24FJ128GA010 PIC24 100-pin PIM (pesquisa)
- [83]Wikipedia, "Universal asynchronous receiver/transmitter", Disponível em en.wikipedia.org -> Universal asynchronous receiver/transmitter (procura)
- [84]FTDI Chip, "FT232R - USB UART IC", Disponível em www.ftdichip.com -> Products -> FT232R - Single USB 2.0 to Serial UART Converter IC. -> FT232R Datasheet
- [85]Wikipedia, "System on a chip", Disponível em en.wikipedia.org -> System on a chip (procura)

- [86]Silicon Labs, “EM351 / EM357: High-Performance, Integrated ZigBee/802.15.4 System-on-Chip”, Disponível em www.silabs.com -> Wireless -> ZigBee -> EM351/357 ->Documentation -> EM35x.pdf
- [87]Silicon Labs, “EM351 / EM357: High-Performance, Integrated ZigBee/802.15.4 System-on-Chip”, Disponível em www.silabs.com -> Wireless -> ZigBee -> EM351/357 -> More Info
- [88]Farnell, Disponível em pt.farnell.com -> PIC24FJ128GA010 (pesquisar) -> Microcontrollers (MCU)
- [89]Digi-Key, Disponível em www.digikey.pt -> Xbee 802.15.4 (pesquisar) -> RF Transceivers
- [90]Energia, A.p.a., Guia de Eficiência Energética, 2011, ADENE. p. 88
- [91]Farnell, “MIDAS - MCCOG21605B6W-SPTLYI - LCD, COG 2X16, STN, Y/GRN B/L, I2C”, Disponível em pt.farnell.com -> MCCOG21605B6W-SPTLYI (procura)
- [92]Ambient, “Energy devices”, Disponível em www.ambientdevices.com -> Learn more about our line of Energy Products
- [93]Energy, C., Demonstrating PriceLight Technology to Improve Household Energy Efficiency in Central and Southern Illinois, 2008, Illinois Clean Energy Community Foundation. p. 23
- [94]Earth Techling, “Ambient Energy Orb Makes A ZigBee Connection”, Disponível em www.earthtechling.com -> Ambient Energy Orb Makes A ZigBee Connection (procura)
- [95]Ambient, “Utility Deployment” Disponível em www.ambientdevices.com -> Technology -> Utility Deployment
- [96]Edison, S.C., Information Display Pilot, California Statewide Pricing Pilot, 2005. p. 106
- [97]Faruqui, A. e S. Sergici, BGE’s Smart Energy Pricing Pilot Summer 2008 Impact Evaluation, 2009, Baltimore Gas & Electric Company. p. 33