

# O PAPEL DOS SISTEMAS DE NON- INTRUSIVE LOAD MONITORING PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SETOR RESIDENCIAL

Daniel Ricardo Ventura Duarte



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2014**



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -  
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Daniel Ricardo Ventura Duarte, Nº 1080447, 1080447@isep.ipp.pt

Orientação científica: Luís Filipe Caeiro Castanheira, lcc@isep.ipp.pt

Empresa: Energaia



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2014**



Aos meus pais, irmã e namorada...



## *Agradecimentos*

Gostaria de utilizar esta secção para, em primeiro lugar, agradecer ao meu orientador Eng.º Luís Castanheira por me ter proporcionado esta oportunidade, por todos os desafios que me colocou e ainda pela ajuda disponibilizada durante todo o estágio curricular.

A todos os colaboradores da Energaia, o meu obrigado por todo o acompanhamento na empresa e esclarecimento de dúvidas.

A todos os meus amigos e colegas de curso que participaram nesta caminhada comigo, especialmente ao Flávio Lopes, Rui Oliveira, Ernesto Casanova e Diogo Silva. Um enorme agradecimento aos meus amigos de longa data Simão Guedes, Bruno Seada e André Varejão por todo o companheirismo.

Aos meus pais, pelos esforços efetuados na minha formação académica e pela educação que me proporcionaram. Um obrigado à minha irmã Cristina, pelo apoio incansável durante esta jornada.

Por fim, um agradecimento especial à Isabel Leal, minha namorada, pela paciência, apoio e incentivo durante a elaboração deste trabalho.



## *Resumo*

A sustentabilidade energética do planeta é uma preocupação corrente e, neste sentido, a eficiência energética afigura-se como sendo essencial para a redução do consumo em todos os setores de atividade. No que diz respeito ao setor residencial, o indevido comportamento dos utilizadores aliado ao desconhecimento do consumo dos diversos aparelhos, são fatores impeditivos para a redução do consumo energético. Uma ferramenta importante, neste sentido, é a monitorização de consumos nomeadamente a monitorização não intrusiva, que apresenta vantagens económicas relativamente à monitorização intrusiva, embora levante alguns desafios na desagregação de cargas.

Abordou-se então, neste documento, a temática da monitorização não intrusiva onde se desenvolveu uma ferramenta de desagregação de cargas residenciais, sobretudo de aparelhos que apresentavam elevados consumos. Para isso, monitorizaram-se os consumos agregados de energia elétrica, água e gás de seis habitações do município de Vila Nova de Gaia. Através da incorporação dos vetores de água e gás, a acrescentar ao da energia elétrica, provou-se que a performance do algoritmo de desagregação de aparelhos poderá aumentar, no caso de aparelhos que utilizem simultaneamente energia elétrica e água ou energia elétrica e gás.

A eficiência energética é também parte constituinte deste trabalho e, para tal, implementaram-se medidas de eficiência energética para uma das habitações em estudo, de forma a concluir as que exibiam maior potencial de poupança, assim como rápidos períodos de retorno de investimento.

De um modo geral, os objetivos propostos foram alcançados e espera-se que num futuro próximo, a monitorização de consumos não intrusiva se apresente como uma solução de referência no que respeita à sustentabilidade energética do setor residencial.

### ***Palavras-Chave***

NILM, algoritmo de desagregação de cargas, assinaturas elétricas, eficiência energética, consumo *baseload*.



## *Abstract*

Planet's energy sustainability is a going concern and energy efficiency appears to be essential for reducing the consumption in all sectors of activity. Regarding the residential sector, inadequate behaviour of users along with the unknown of the several appliances consumption are impeditive factors to reducing energy consumption. In this context, an important tool is the load monitoring, particularly the non-intrusive load monitoring, which has some advantages over intrusive monitoring while adding some challenges on the load disaggregation.

In this document the non-intrusive load monitoring has been approached where a residential load disaggregation tool has been developed, in particular to high consumption appliances. To validate the study, the aggregate consumption of electricity, water and gas was monitored in six houses in the municipality of Vila Nova de Gaia. Through the incorporation of water and gas vectors in addition to electricity, it has been proved that the performance of the disaggregation algorithm has improved in appliances that use electricity and water or electricity and gas simultaneously.

Energy efficiency is also a constituent part of this work, therefore, some efficient energy technologies had been implemented in one of the dwelling of this study in order to conclude the ones that exhibited the greatest potential savings as well as quick payback periods.

Overall, the main objectives of this study were achieved and it is expected that in the near future, non-intrusive load monitoring will be a benchmark solution regarding energy sustainability in the residential sector.

### ***Keywords***

NILM, load disaggregation algorithm, electric signatures, energy efficiency, baseload consumption.



## *Résumé*

La soutenabilité énergétique de la planète est une inquiétude courante et, dans ce sens, l'efficacité énergétique paraît comme essentiel pour la réduction de la consommation dans tous les secteurs d'activité. En ce qui concerne le secteur résidentiel, le comportement inapproprié des usagers, allié à la méconnaissance des consommations des différents dispositifs, empêchent la réduction de la consommation énergétique. Un outil important, dans ce sens, c'est la surveillance pas intrusive, qui présente des avantages économiques vis-à-vis la surveillance intrusive, même nonobstant quelques défis dans la désagrégation des charges.

On a abordé dans ce document, la thématique de la surveillance pas intrusive dont on a développé un outil de désagrégation de charges résidentielles, surtout des dispositifs qui présentaient hautes consommations. Pour ça, nous avons surveillé l'ensemble de consommation de l'énergie électrique, de l'eau, et du gaz dans six foyers de la commune de Vila Nova de Gaia. Par l'incorporation des vecteurs de l'eau et du gaz, et les ajoutant à celui de l'énergie électrique, c'était prouvé que la performance de l'algorithme de la désagrégation des dispositifs peut augmenter, dans des situations où les dispositifs utilisent simultanément de l'énergie électrique et de l'eau, ou de l'énergie électrique et du gaz.

L'efficacité énergétique fait aussi objet de cet' exposé, donc, des mesures d'efficacité énergétique ont été implémentées dans un des foyers en analyse. Le but c'était de savoir quels présentaient un majeur potentiel d'épargne, et au même temps de rapides périodes de retour d'investissement.

En général, les objectives ont été accomplis et on souhaite que, dans un future proche, la surveillance des consommations pas intrusive se présente comme une véritable solution, concernant la soutenabilité énergétique du secteur ménager.

### *Mots-clés*

NILM, algorithme de désagrégation de charges, signatures électriques, efficacité énergétique, consommation *baseload*.



# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	<b>XIX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	3
1.2. OBJETIVOS .....	3
1.3. CALENDARIZAÇÃO .....	4
1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO.....	4
<b>2. MONITORIZAÇÃO NÃO INTRUSIVA DE CARGAS</b> .....	<b>7</b>
2.1. TÉCNICAS NILM – ENERGIA ELÉTRICA.....	8
2.1.1. Técnicas baseadas em análise de dados de baixa frequência .....	8
2.1.1.1. Variações de potência ativa e reativa .....	8
2.1.1.2. Variações de potência ativa .....	13
2.1.1.3. Assinaturas elétricas compostas por várias características.....	15
2.1.2. Técnicas baseadas em análise de dados de alta frequência.....	15
2.1.2.1. Harmónicos de corrente do regime transitório .....	16
2.1.2.2. Harmónicos de corrente do estado estacionário .....	17
2.1.2.3. Análise do ruído no sinal de tensão.....	18
2.1.2.4. Propriedades das curvas V-I.....	19
2.1.2.5. Forma de onda do sinal de corrente inalterado.....	20
2.1.2.6. Variações no sinal da tensão e corrente.....	21
2.1.3. Técnicas de características não tradicionais.....	22
2.1.3.1. Quadrados e triângulos.....	22
2.1.3.2. Potência ativa aliada a outras características.....	23
2.1.4. Resumo.....	23
2.2. TÉCNICAS NILM – ÁGUA.....	26

2.2.1.	Monitorização direta do consumo de água .....	26
2.2.2.	Monitorização da pressão de água .....	27
2.2.3.	Análise de vibração .....	28
2.3.	TÉCNICAS NILM – GÁS .....	28
2.3.1.	Análise de dados de áudio.....	29
2.3.2.	Outros estudos.....	29
2.4.	TECNOLOGIAS NILM.....	30
2.4.1.	Redy .....	30
2.4.2.	TED 5000.....	30
2.4.3.	Powersavvy .....	32
2.4.4.	WattEnterprise .....	33
2.4.5.	Outras soluções .....	33
<b>3.</b>	<b>ASSINATURAS ELÉTRICAS DE APARELHOS.....</b>	<b>35</b>
3.1.	DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	36
3.1.1.	Máquina de lavar loiça – MLL .....	37
3.1.2.	Máquina de lavar roupa – MLR.....	39
3.1.3.	Frigorífico .....	41
3.1.4.	Micro-ondas .....	43
3.1.5.	Máquina de secar roupa .....	44
3.1.6.	Outros equipamentos .....	45
<b>4.</b>	<b>ALGORITMO DE DESAGREGAÇÃO DE CONSUMOS RESIDENCIAIS .....</b>	<b>47</b>
4.1.	INTRODUÇÃO AO MODELO DE DESAGREGAÇÃO DE CARGAS.....	48
4.2.	ALGORITMO DE DESAGREGAÇÃO DE CARGAS – MÁQUINA DE LAVAR LOIÇA .....	49
4.2.1.	Limitações do algoritmo .....	50
4.2.2.	Início da fase de aquecimento.....	50
4.2.3.	Final da fase de aquecimento .....	51
4.2.4.	Início e final da fase de secagem .....	52
4.2.5.	Resultados .....	53
4.3.	ALGORITMO DE DESAGREGAÇÃO DE CARGAS – MÁQUINA DE LAVAR ROUPA .....	54
4.3.1.	Limitações do algoritmo .....	56
4.3.2.	Início da fase de aquecimento.....	56
4.3.3.	Final da fase de aquecimento .....	57
4.3.4.	Fase de centrifugação.....	57
4.3.5.	Resultados .....	58
4.4.	INCORPORAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA NO MODELO DE DESAGREGAÇÃO DE CARGAS .....	59
4.4.1.	Algoritmo da máquina de lavar loiça.....	62
4.4.2.	Algoritmo da máquina de lavar roupa .....	62
4.5.	VANTAGENS DA MONITORIZAÇÃO DE ÁGUA .....	63

4.5.1.	Caso de estudo máquina de lavar loiça .....	63
4.5.2.	Caso de estudo máquina de lavar roupa .....	65
<b>5.</b>	<b>PROPOSTAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>69</b>
5.1.	SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS .....	70
5.1.1.	Princípio de funcionamento .....	70
5.1.2.	Sistemas passivos e sistemas ativos .....	71
5.2.	CALDEIRA DE CONDENSAÇÃO .....	72
5.3.	SISTEMAS DE REDUÇÃO DE CAUDAL.....	73
5.4.	ILUMINAÇÃO .....	74
5.5.	RESUMO .....	74
5.6.	AVALIAÇÃO DE PROPOSTAS.....	75
5.6.1.	Habitação 2.....	75
5.6.1.1.	Implementação de redutores de caudal.....	77
5.6.1.2.	Implementação de soluções para iluminação .....	79
5.6.1.3.	Implementação do painel solar térmico.....	81
5.6.1.4.	Implementação de caldeira de condensação.....	83
5.7.	ANÁLISE <i>STANDBY</i> E <i>BASELOAD</i> .....	84
5.7.1.	Metodologia .....	86
5.7.2.	Resultados .....	87
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS.....</b>	<b>91</b>
	<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS .....</b>	<b>95</b>
	<b>ANEXO A. PSEUDO-CÓDIGOS MATLAB.....</b>	<b>99</b>
	<b>ANEXO B. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....</b>	<b>103</b>



## *Índice de Figuras*

Figura 1	Consumo de energia elétrica agregado [HART, 1992]	9
Figura 2	Padrão de consumo dos diferentes tipos de carga [HART, 1992]	10
Figura 3	Etapas do algoritmo NALM [HART, 1992]	11
Figura 4	Plano bi-dimensional $\Delta P$ - $\Delta Q$ [HART, 1992]	12
Figura 5	Etapas de funcionamento do algoritmo desenvolvido para o termoacumulador elétrico [FARINNACIO et al, 1999]	14
Figura 6	A análise do terceiro harmônico permite a distinção entre um computador e uma lâmpada incandescente [LAUGHMAN et al, 2003]	16
Figura 7	Assinaturas elétricas dos harmônicos de um monitor e de um computador respectivamente [SRINIVASAN et al, 2006]	18
Figura 8	Metodologia de identificação de aparelhos através da análise do ruído do sinal [GUPTA et al, 2007]	19
Figura 9	Curvas V-I de um rádio (figura a) e de um leitor de CD (figura b) [LAM et al, 2007]	20
Figura 10	Forma de onda da corrente de um micro-ondas (figura da esquerda) e de um sistema de ar condicionado (figura da direita) [SUZUKI et al, 2008]	21
Figura 11	Forma de onda da tensão e corrente de um monitor (figura a) e de um micro-ondas (figura b) [KATO et al]	22
Figura 12	Perfil do consumo evidenciando os quadrados e triângulos [WANG et al, 2010]	23
Figura 13	Consumo de água e energia elétrica em simultâneo [KIM et al, 2009]	27

Figura 14	Evento detetado relativo a uma torneira de cozinha [FROEHLICH et al, 2009]	28
Figura 15	TED 5000-C [TED]	32
Figura 16	Caso de estudo relativo ao Powersavvy [POWERSAVVY]	33
Figura 17	Desagregação dos consumos totais para aparelhos ou classes de aparelhos [ADENE, 2004]	36
Figura 18	Percentagem de equipamentos nas habitações portuguesas [ADENE, 2004]	37
Figura 19	Assinatura elétrica de uma máquina de lavar loiça comum [ADENE, 2004]	38
Figura 20	Assinaturas elétricas de 4 máquinas de lavar loiça diferentes [KOLTER et al, 2011]	39
Figura 21	Ciclo de funcionamento típico de duas máquinas de lavar roupa a temperaturas diferentes [ADENE, 2004]	40
Figura 22	Assinaturas elétricas de duas MLR distintas [REINHARDT, 2012]	41
Figura 23	Assinatura elétrica típica de um frigorífico [ADENE, 2004]	42
Figura 24	Assinaturas elétricas de três diferentes frigoríficos [KOLTER et al, 2011]	43
Figura 25	Assinaturas elétricas de três micro-ondas diferentes [KOLTER et al, 2011]	44
Figura 26	Assinaturas elétricas de duas máquinas de secar roupa distintas [REINHARDT et al, 2012] e [MAKONIN et al, 2013]	45
Figura 27	Assinatura elétrica de uma MLL da habitação 2 detetada pelo algoritmo	49
Figura 28	Perfil da fase de aquecimento e água de uma MLL (círculo vermelho)	52
Figura 29	Exemplo de uma MLR da habitação 1	55
Figura 30	Ambiente inicial da plataforma ITRON	59
Figura 31	Visualização em gráficos de barras da habitação 1	60

Figura 32	Consumo de energia elétrica da habitação 6 durante o dia 10 de Agosto de 2014	61
Figura 33	Consumo de água e gás da habitação 6 durante o dia 10 de Agosto de 2014	61
Figura 34	Exemplo de um perfil falso positivo de uma MLL devido a um consumo de água elevado	64
Figura 35	Exemplo de um perfil falso positivo de uma MLL devido a um consumo de água reduzido	65
Figura 36	Exemplo de um perfil falso positivo de uma MLR devido ao não consumo de água	66
Figura 37	Exemplo de um perfil falso positivo de uma MLR devido ao consumo elevado de água	66
Figura 38	Sistema solar térmico de termossifão (figura a) e sistema solar térmico com depósito integrado (figura b)	71
Figura 39	Comparação do princípio de funcionamento de uma caldeira convencional (figura da esquerda) e uma caldeira de condensação (figura da direita)	73
Figura 40	Redutor de caudal para torneiras	73
Figura 41	Distribuição do consumo de água doméstico (Fonte: Comunidade Intermunicipal da região e Aveiro – Baixo Vouga)	78
Figura 42	Distribuição do consumo de gás natural por tipo de utilização [INE/DGEG, 2010]	81
Figura 43	Variação do consumo de energia elétrica por intervalos de 1 hora durante o mês de Janeiro	86
Figura 44	Variação do consumo elétrico por intervalo de 15 minutos durante o mês de Janeiro	87
Figura 45	Variação do consumo de <i>baseload</i> das seis habitações	88

Figura 46 Probabilidade de ocorrência da hora de consumo de *baseload* 89

Figura 47 Probabilidade de ocorrência do período de 15 minutos de consumo de *baseload* 90

## *Índice de Tabelas*

Tabela 1	Calendarização do projeto	4
Tabela 2	Quadro resumo com as principais características das técnicas NILM	24
Tabela 3	Principais tecnologias associadas ao NILM	34
Tabela 4	Parâmetros estabelecidos para MLL	50
Tabela 5	Resultados alusivos à MLL da habitação 1	53
Tabela 6	Resultados alusivos à MLL da habitação 2	54
Tabela 7	Parâmetros estabelecidos para a MLR	55
Tabela 8	Resultados alusivos à MLR da habitação 1	58
Tabela 9	Resultados alusivos à MLR da habitação 2	58
Tabela 10	Potencial de poupança das diferentes tecnologias de eficiência energética	75
Tabela 11	Caracterização da habitação segundo resposta ao questionário	76
Tabela 12	Consumos de energia elétrica, gás e água relativos à habitação 2	77
Tabela 13	Características dos redutores de caudal	78
Tabela 14	Resultados da proposta de investimento	79
Tabela 15	Comparação de uma lâmpada incandescente com uma lâmpada fluorescente	79
Tabela 16	Comparação de uma lâmpada incandescente com uma lâmpada LED	80
Tabela 17	Proposta de investimento do painel solar térmico	82
Tabela 18	Proposta de investimento de uma caldeira de condensação	83

Tabela 19 Consumo *standby* de alguns aparelhos no ano de 2007, adaptado de [Hamer et al, 2008]

84

## *Acrónimos*

AQS	–	Águas Quentes Sanitárias
DVD	–	Digital Versatile Disc
ECC	–	Energy Control Center
FFT	–	Fast Fourier Transform
IEA	–	Internation Energy Agency
IVA	–	Imposto Valor Acrescentado
LCD	–	Liquid Crystal Display
LED	–	Light Emitting Diode
MLL	–	Máquina Lavar Loiça
MLR	–	Máquina Lavar Roupa
MTU	–	Measuring Transmitting Unit
NALM	–	Nonintruisve Appliance Load Monitoring
NAWMS	–	Nonintrusive Autonomous Water Monitoring System
NILM	–	Non-intrusive Load Monitoring
PCI	–	Poder Calorífico Interno
RECAP	–	Recognition of Electrical Appliances and Profiling in real-time
SVM	–	Support Vector Machine



# 1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial e o desenvolvimento dos países relaciona-se, inevitavelmente, com o aumento do consumo de energia. Os vários recursos, tanto a energia elétrica, como o gás ou a água são vitais à atual civilização, sendo que apenas um desenvolvimento energético sustentável poderá responder aos desafios inerentes ao aumento da procura. Um estudo da Administração de Energia dos Estados Unidos da América [EIA, 2013] prevê um crescimento de 56% do consumo de energia entre os anos de 2010 e 2040. No entanto, apesar de se prever um aumento na produção de energia de fonte renovável, assim como de energia nuclear, os combustíveis fósseis continuarão a suportar, no ano de 2040, cerca de 80% do consumo mundial de energia.

A resposta a este problema poderá residir na eficiência energética e, conseqüentemente, no desenvolvimento sustentável do planeta. Não existe uma definição precisa para o conceito de eficiência energética, contudo, a Agência Internacional de Energia (IEA) definiu-o, como sendo:

*“ (...) uma forma de gerir e limitar o crescimento do consumo de energia. Algo é energeticamente mais eficiente se emprega mais características com a mesma quantidade de energia, ou as mesmas características com menos energia. Por exemplo, quando uma lâmpada fluorescente utiliza menos energia (entre um terço e um quinto) que uma lâmpada incandescente, para produzir a mesma quantidade de luz, a lâmpada fluorescente é considerada mais eficiente”.*

Apesar de ser notável o avanço nesta área, existem ainda uma série de medidas a ser tomadas em todos os setores de atividade, de forma a alcançar o objetivo de redução do consumo de energia. O estudo *supra* citado refere ainda que o setor residencial contribui em, aproximadamente, 25% para o consumo total de energia mundial, sendo de prever um aumento de 57% até 2040. Pelo exposto, o setor residencial apresenta-se como uma forte possibilidade para incorporar medidas de eficiência energética. Nesse sentido, levanta-se então a seguinte questão:

### **Qual será o potencial de poupança de algumas medidas de eficiência energética aplicadas ao setor residencial?**

Durante este trabalho propuseram-se algumas medidas de eficiência energética como os sistemas solares térmicos, os sistemas de redução de caudal, a caldeira de condensação e a iluminação eficiente. A iluminação, nomeadamente a tecnologia fluorescente e LED, assim como os redutores de caudal, apresentaram níveis de poupança e períodos de retorno de investimento elevados. Os casos dos sistemas solares térmicos e da caldeira de condensação, apesar de apresentarem poupanças significativas, requerem um investimento inicial elevado, pelo que poderão ser menos apelativos. A quantificação da poupança energética destas medidas é um dos objetivos deste trabalho.

Os resultados de um estudo realizado por [CHISIK, 2011], apontam para o desconhecimento das pessoas relativamente ao consumo elétrico dos seus aparelhos, associando muitas vezes o seu tamanho ou duração de funcionamento a elevados consumos de energia elétrica. Com a água e o gás o mesmo se sucede, pois os utilizadores não possuem ferramentas, além das faturas mensais, para ter conhecimento acerca do quanto consome cada aparelho em questão. Desta forma, consciencializar os utilizadores para reduzir os seus consumos energéticos, através de pequenas alterações nos seus comportamentos, torna-se então um desafio. Os sistemas de monitorização, nomeadamente a monitorização não intrusiva, apresentam-se como uma solução fiável para auxiliar os utilizadores na aprendizagem do consumo dos seus aparelhos, contribuindo para o objetivo da eficiência energética.

Neste sentido, os sistemas NILM (*Non-intrusive Load Monitoring*) apresentam-se como soluções mais económicas relativamente aos sistemas de monitorização intrusivos, levantando, porém, algumas questões no que diz respeito à desagregação de cargas.

Entenda-se desagregação de cargas como a tarefa de separar o consumo agregado de uma habitação em todos os dispositivos constituintes. Coloca-se então a seguinte questão:

**Será que a monitorização de recursos energéticos como a água ou o gás, em conjunto com a energia elétrica, aumenta a performance do sistema na desagregação de cargas, comparativamente com sistemas que apenas utilizem a energia elétrica?**

A resposta a esta questão é outro dos objetivos primordiais deste trabalho. Embora neste projeto não tenha sido possível responder quantitativamente a esta pergunta, a monitorização de recursos energéticos, como a água e gás, em conjunto com a energia elétrica, permite adicionar características específicas aos aparelhos. Deste modo, existe a possibilidade de identificar, em alguns casos, equipamentos que não seriam identificados apenas com a monitorização de energia elétrica. Durante este trabalho apresentar-se-ão as razões que não permitiram responder concretamente a esta pergunta.

## **1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO**

Este projeto surge do interesse da empresa Energaia, Agência de Energia do Sul da área metropolitana do Porto, em utilizar dados de consumo de energia elétrica, água e gás de 6 casas do concelho Vila Nova de Gaia de forma a desenvolver uma técnica de desagregação de cargas, assim como identificar potenciais medidas de eficiência energética.

## **1.2. OBJETIVOS**

Um dos objetivos do trabalho proposto foi no sentido de provar a maior capacidade de desagregação que a monitorização de recursos como a água ou gás possui, em conjunto com a energia elétrica, quando comparados com os sistemas que apenas monitorizam o consumo de energia elétrica. A acrescentar a este, a quantificação de eventuais medidas de eficiência energética apresenta-se também como um objetivo essencial. De forma a atingir estes objetivos, procedeu-se à subdivisão dos mesmos nas seguintes etapas:

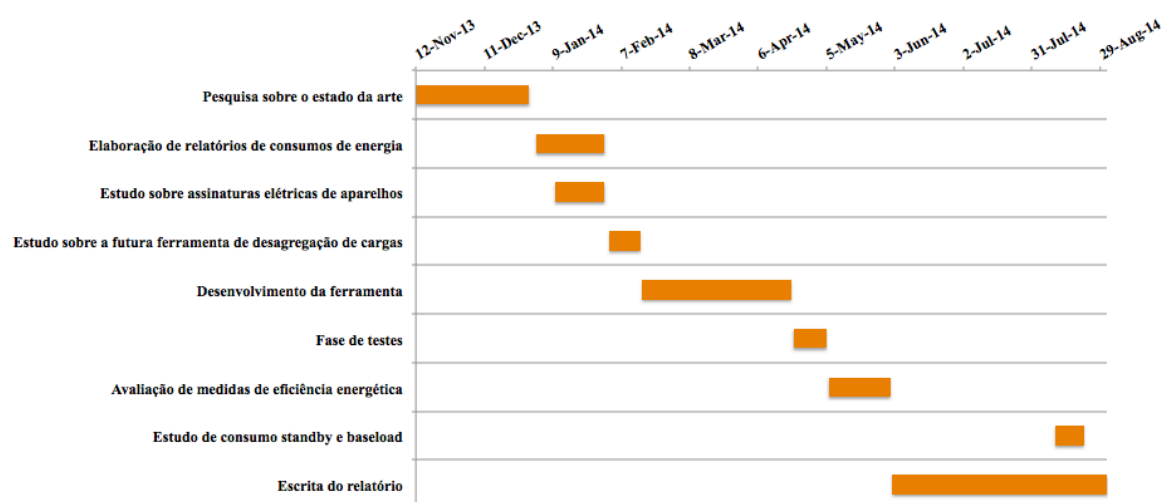
- Caracterizar as técnicas e tecnologias associadas ao NILM, nomeadamente no setor residencial;
- Determinar e caracterizar as assinaturas elétricas de diferentes aparelhos domésticos;

- Desenvolver um modelo de desagregação de cargas para aparelhos que apresentem consumos de um ou mais recursos energéticos;
- Implementar algumas medidas de eficiência energética existentes no mercado atual, de modo a quantificar eventuais poupanças de energia nas habitações em estudo;
- Analisar e caracterizar o consumo *baseload* das habitações constituintes do estudo.

### 1.3. CALENDARIZAÇÃO

A calendarização do projeto assentou num conjunto de tarefas realizadas ao longo dos últimos dez meses, onde se englobam o estudo do estado da arte, o estudo de assinaturas elétricas de aparelhos do setor doméstico, o desenvolvimento da ferramenta de desagregação de cargas e ainda propostas de medidas de eficiência energética. A mesma encontra-se apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1 Calendarização do projeto**



### 1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

A organização do trabalho foi planeada com o intuito de responder aos objetivos propostos e segue a seguinte estrutura. Excluindo o capítulo inicial referente à introdução, o trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos. O capítulo segundo apresenta o estado da arte da monitorização não intrusiva de cargas. Neste capítulo são abordadas as técnicas e tecnologias associadas ao NILM, assim como as suas principais características. Cada abordagem apresenta diferenças em relação às demais e é, essencialmente, sobre essas diferenças que este capítulo se centra. No terceiro capítulo, são apresentados os principais

perfis de funcionamento elétrico de vários aparelhos, nomeadamente, os relacionados com o setor residencial. O quarto capítulo diz respeito ao modelo de desagregação de cargas desenvolvido. Paralelamente, serão apresentados alguns casos de estudo assim como os resultados do mesmo no que respeita à performance de desagregação. No penúltimo capítulo, são apresentadas propostas de medidas de eficiência energética para uma das seis habitações em estudo, baseadas num questionário realizado aos respetivos moradores. Realizou-se ainda a avaliação económica e energética das medidas propostas. A acrescentar ao referido, será realizada uma análise do consumo *baseload* das habitações, que poderá ser útil para, de certa forma, identificar consumos excessivos ou mesmo detetar alguma avaria nos aparelhos. No sexto e último capítulo são apresentadas as perspetivas futuras do trabalho, assim como as conclusões resultantes de todo o trabalho realizado.



## 2. MONITORIZAÇÃO NÃO INTRUSIVA DE CARGAS

O aumento do consumo de energia nos países desenvolvidos tem-se revelado uma constante ao longo dos últimos anos. De forma a diminuir esse consumo, preservando o mesmo nível de vida, terá de se promover a eficiência energética em todos os setores de atividade. No setor doméstico, as causas para a não diminuição do consumo de energia são várias, desde a não consciencialização do utilizador para a quantidade de energia que cada aparelho consome, até à ineficiência energética dos aparelhos.

Os sistemas de monitorização de consumos energéticos são uma ferramenta que poderá incitar o consumidor final a alterar as suas rotinas e a torná-lo capaz de compreender quais os aparelhos com maior impacto no consumo total de energia. Os métodos de monitorização intrusiva e não intrusiva apresentam-se como soluções para promover a sustentabilidade energética no setor residencial. A monitorização intrusiva implica a instalação de um sensor em cada aparelho, ou apenas nos aparelhos de maior consumo energético, para proceder à recolha de dados. A monitorização não intrusiva de cargas, também designada por NILM, apresenta-se como uma solução que recorre a apenas um sensor, habitualmente instalado no quadro elétrico principal das habitações. O desafio encontra-se em obter os dados de consumo desagregado, recorrendo-se, para isso, a

algoritmos de desagregação de cargas<sup>1</sup> que permitem obter o perfil de funcionamento dos aparelhos. A mais valia deste tipo de monitorização é o reduzido custo de aquisição de equipamentos, devido ao fato de apenas necessitar de um sensor, em comparação com o elevado número de sensores necessários na monitorização intrusiva.

Deste modo, serão abordados, ao longo deste capítulo, as técnicas e tecnologias mais influentes do NILM, no que respeita aos consumos de energia elétrica, água e gás.

## **2.1. TÉCNICAS NILM – ENERGIA ELÉTRICA**

Podem encontrar-se, hoje em dia, um elevado número de técnicas desenvolvidas no âmbito do NILM. O objetivo fulcral destas abordagens consiste em atingir uma elevada performance na desagregação de cargas, embora também se pretenda alcançar a quantificação dos consumos dos aparelhos e a sua contribuição no consumo total de energia. A energia elétrica foi o primeiro recurso energético a ser estudado enquanto que, o gás e água, apenas ultimamente têm sido alvo de análise.

As técnicas associadas ao NILM podem dividir-se em duas categorias, nomeadamente, as baseadas em dados de baixa frequência ou as baseadas em dados de elevada frequência. Nos subcapítulos seguintes serão objeto de análise as diferentes metodologias de desagregação de consumos.

### **2.1.1. TÉCNICAS BASEADAS EM ANÁLISE DE DADOS DE BAIXA FREQUÊNCIA**

As técnicas baseadas em sensores com aquisições de dados de baixa frequência caracterizam-se por serem de baixo custo e, tipicamente, os sensores que se enquadram nesta categoria apresentam períodos de amostras superiores ou iguais a 1 segundo.

#### **2.1.1.1. Variações de potência ativa e reativa**

O primeiro estudo no âmbito do NILM teve lugar na década de 1980 e foi publicado em 1992 por George W. Hart [HART, 1992]. O sistema foi apelidado de NALM (*Nonintrusive Appliance Load Monitoring*) e recorre a um sensor instalado no quadro elétrico de uma habitação, monitorizando, deste modo, o consumo de energia elétrica agregado com período de amostragem de 1 segundo. O objetivo foi dividir os dados de consumo

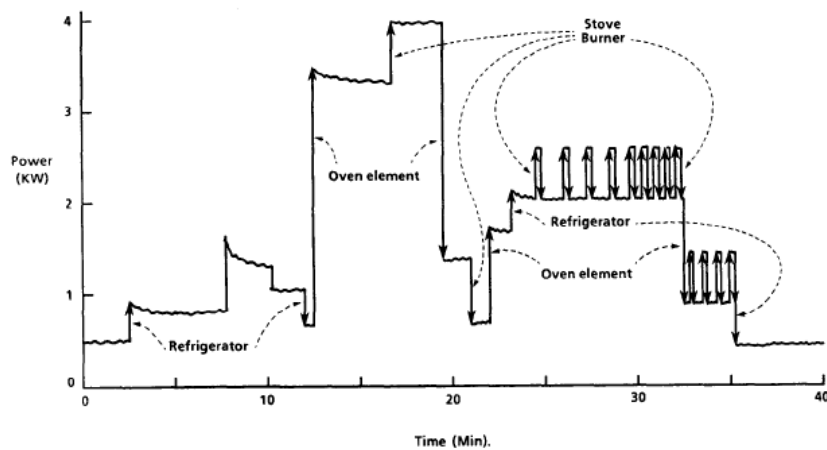
---

<sup>1</sup> São programas que analisam os dados de consumo agregado numa habitação, identificando os aparelhos envolvidos assim como os seus consumos durante o tempo de funcionamento.

agregado pelos consumos dos vários equipamentos. Considerando que a potência total é representada pela soma das potências correspondentes a cada equipamento, Hart definiu matematicamente o problema como:

$$P(t) = p_1(t) + p_2(t) + \dots + p_n(t) \quad (1)$$

Onde  $P(t)$  é a potência total registada no período de tempo  $t$ ,  $p_n(t)$  representa o contributo de cada aparelho ativo no mesmo instante e  $n$  como sendo o número total de aparelhos. A figura 1 representa o método explicado anteriormente, apresentando a divisão do consumo agregado em equipamentos individuais.



**Figura 1 Consumo de energia elétrica agregado [HART, 1992]**

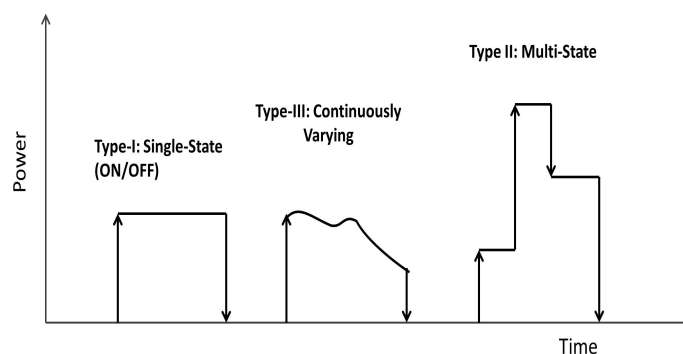
Os aparelhos elétricos foram divididos por Hart em 3 diferentes categorias, baseados nos seus estados de funcionamento:

1. Aparelhos de funcionamento *ON/OFF* – São aparelhos que apenas têm dois estados de funcionamento, isto é, ou estão ligados ou desligados. Pode tomar-se como exemplo uma torradeira ou uma lâmpada.
2. Aparelhos de estado finito – São aparelhos com um número definido de estado de funcionamento, em que os padrões de transição são repetidos ao longo do tempo. Nesta categoria estão incluídos aparelhos como máquinas de lavar ou secar roupa, máquinas de lavar loiça e fogão.
3. Aparelhos de consumo variável e estado não finito – Este tipo de aparelhos apresenta um consumo variável ao longo do tempo e, por isso, não possuem um

perfil de funcionamento definido. Ferramentas elétricas ou lâmpadas de luminosidade variável são exemplos deste tipo de aparelhos.

Este estudo apenas teve em consideração estes 3 tipos de equipamentos elétricos, no entanto, autores como [ZEIFMAN et al, 2011] e [BARANSKI et al, 2003] destacam uma quarta categoria onde se encontram os aparelhos de consumo permanente. Nesta categoria enquadram-se equipamentos que permanecem ativos durante dias ou mesmo semanas, com potências ativas e reativas aproximadamente constantes. Podemos encontrar, como exemplos desta categoria, os detetores de incêndio ou receptores dedicados às comunicações [ZOHA et al, 2012].

Na figura 2, apresentam-se os perfis de consumo das três primeiras categorias de cargas *supra* mencionadas. Ao longo do capítulo terceiro serão abordadas, com maior precisão, as assinaturas elétricas<sup>2</sup> de alguns aparelhos comuns ao setor doméstico.



**Figura 2 Padrão de consumo dos diferentes tipos de carga [HART, 1992]**

O NALM permite apenas desagregar aparelhos que se encontrem inseridos nas categorias 1 e 2, uma vez que consiste em detetar transições de um estado constante para outro, através da análise da potência ativa e reativa. Para que se possam identificar estes eventos<sup>3</sup>, é necessário conhecer as assinaturas elétricas dos equipamentos constituintes da habitação, de forma a, posteriormente, se cruzar os perfis e identificar as cargas ativas num determinado momento.

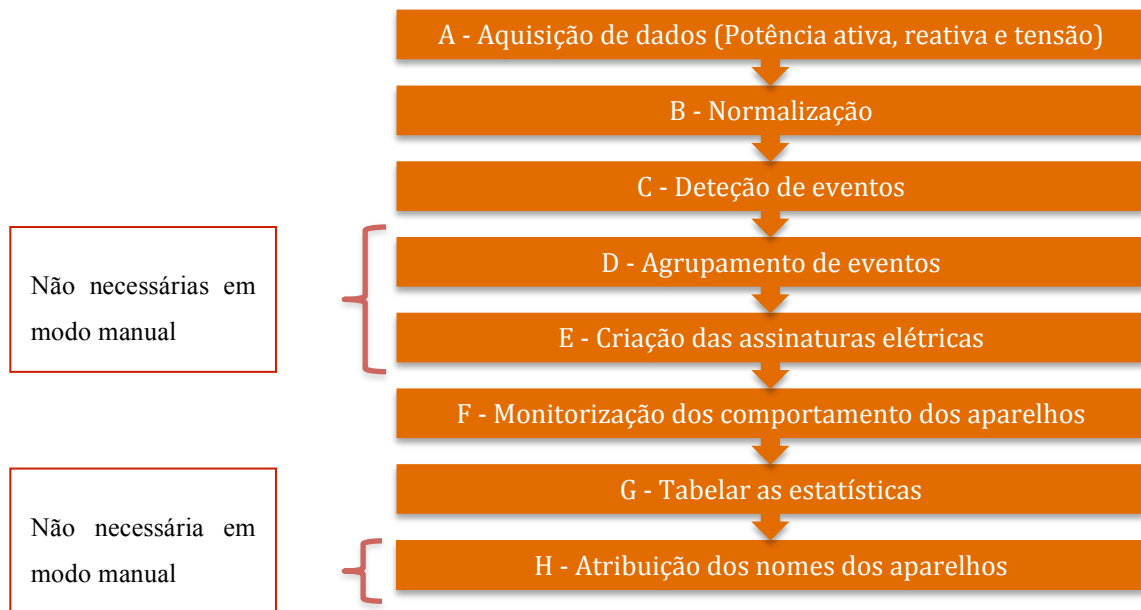
<sup>2</sup> Comportamento elétrico de um aparelho individual durante o seu funcionamento. Pode-se caracterizar por diferentes variáveis como a tensão, corrente, potência ativa, potência reativa, harmónicos ou ruído do sinal.

<sup>3</sup> Um evento é a transição entre dois estados diferentes.

As assinaturas elétricas, neste estudo, podem ser obtidas através de duas formas:

- Modo Manual – Neste modo, os aparelhos são ligados e desligados individualmente para as assinaturas serem observadas e caracterizadas. Este método, apesar de não utilizar nenhum *hardware* adicional ao sensor único do quadro elétrico, apresenta um comportamento intrusivo pois necessita de intervenção humana para proceder à análise do comportamento dos equipamentos.
- Modo Automático – Este modo utiliza dados prévios relativos às assinaturas elétricas dos principais equipamentos a estudar. Deste modo, evita-se a intervenção humana e a já referida intrusão.

A metodologia deste algoritmo é representada pelas etapas de funcionamento apresentadas na figura 3.



**Figura 3** Etapas do algoritmo NALM [HART, 1992]

A primeira etapa (A) diz respeito à aquisição dos dados com frequência de 1 Hz, ou seja, uma amostra a cada segundo. Na segunda etapa (B), é aplicada a seguinte equação aos dados obtidos de forma a normalizar o valor de potência medido:

$$P_{normalizada}(t) = \left(\frac{120}{V(t)}\right)^2 * P(t) \quad (2)$$

Assim, o método fica preservado de possíveis variações na rede que poderiam induzir em erro aquando da deteção de aparelhos. De seguida, na terceira etapa (C), o algoritmo deteta as transições entre estados estacionários através da análise dos dados normalizados na etapa B. Os autores consideraram um estado estacionário como um período de tempo onde a variação de potência ativa e reativa não fosse superior, respetivamente, a 15W e 15VAR. Na quarta etapa (D), o algoritmo agrupa os eventos semelhantes que foram identificados na etapa C. Os eventos são agrupados num diagrama de assinaturas bi-dimensional (plano  $\Delta P$ - $\Delta Q$ ) onde um dos eixos é referente à potência ativa enquanto que o outro eixo é relativo à potência reativa (ver figura 4). Por sua vez, na etapa seguinte (E), definem-se as assinaturas elétricas da primeira e segunda categoria de cargas. Estas duas últimas etapas apenas se realizam se o NALM estiver na configuração automática, para que, deste modo, se criem as assinaturas elétricas da habitação. Já na sexta etapa (F), depois das assinaturas elétricas estarem disponíveis, a cada evento é correspondido uma assinatura elétrica. Na penúltima etapa (G), são tabeladas várias estatísticas relativas ao consumo de cada aparelho. As características mais relevantes são a energia total, energia consumida por dia da semana ou fim-de-semana e ainda fatores de correlação entre energia e temperatura. Por fim (etapa H), o algoritmo atribui os nomes dos aparelhos com base nos dados recolhidos.

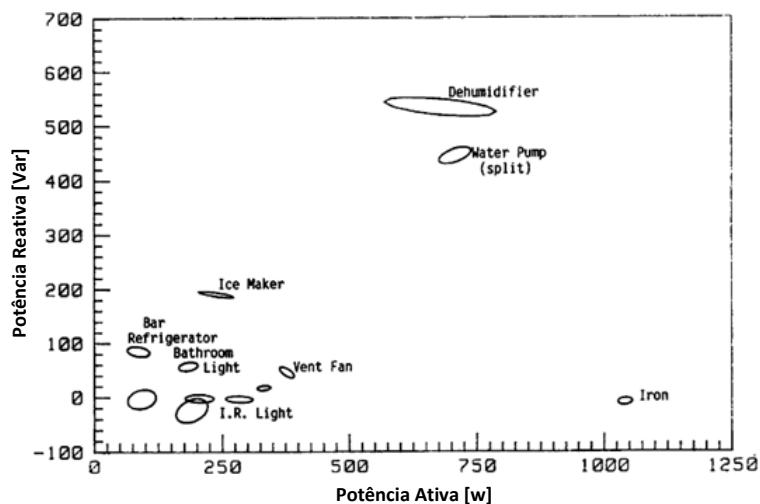


Figura 4 Plano bi-dimensional  $\Delta P$ - $\Delta Q$  [HART, 1992]

Este método produz bons resultados no que respeita à desagregação de aparelhos da categoria 1, pois apresenta uma eficácia de deteção de 86%<sup>4</sup>. Relativamente à categoria 2, não são apresentados resultados concretos por não terem sido contemplados durante o ensaio. As categorias 3 e 4 não foram consideradas aquando do desenvolvimento deste estudo.

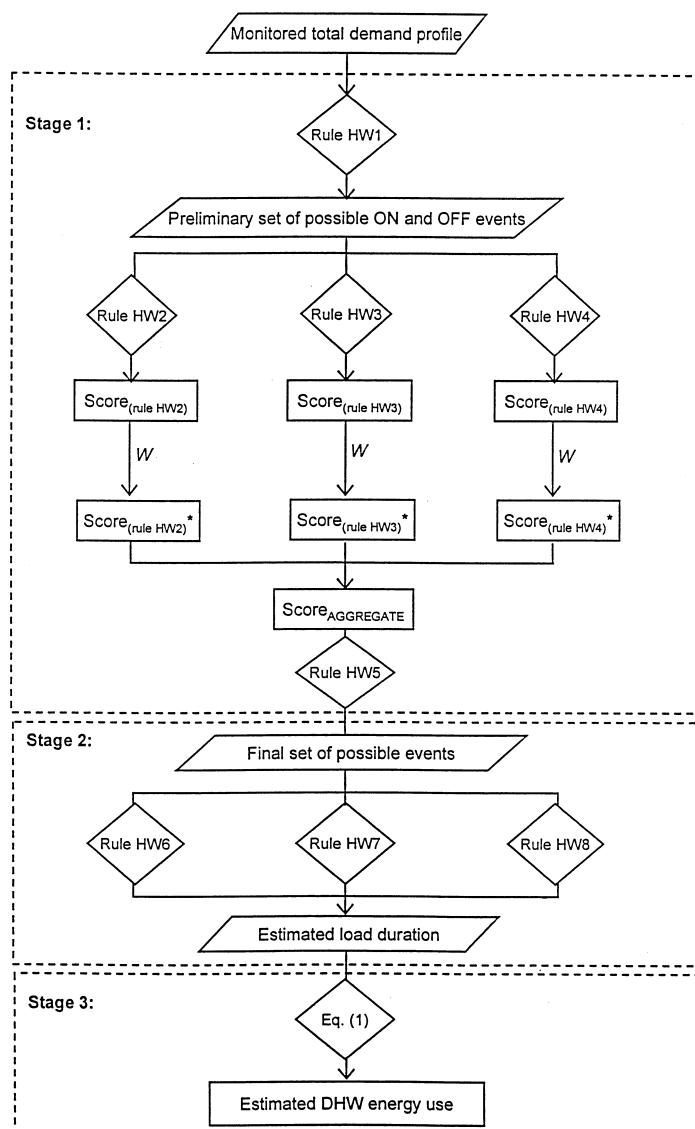
#### **2.1.1.2. Variações de potência ativa**

No estudo de [FARINNACIO et al, 1999], foi implementado um método NILM de desagregação de duas grandes cargas comuns numa habitação, nomeadamente, o frigorífico e o sistema de aquecimento de água (termoacumulador elétrico). Os autores referem que estes dois aparelhos foram selecionados por contribuírem em cerca de 69% do total da energia elétrica consumida numa habitação. Os dados deste estudo foram recolhidos com um período de 16 segundos. Este método utilizou a potência ativa, resultante das medições num ponto único (quadro elétrico da habitação), como característica única para desagregação destes aparelhos.

O algoritmo necessita de um período prévio de treino de aproximadamente uma semana, para o reconhecimento das assinaturas elétricas dos aparelhos em estudo. Foram recolhidos vários perfis de funcionamento dos dois aparelhos para, de seguida, se obter um perfil médio de funcionamento que serviu para a aplicação do método. Em termos técnicos, o algoritmo utiliza um conjunto de condições específicas para a deteção de cada aparelho, divididas, essencialmente, em três fases (ver figura 5). A primeira tem como objetivo detetar o arranque e paragem dos aparelhos através da análise dos dados de consumo de energia. Por sua vez, a segunda fase, avalia se os eventos detetados na primeira fase se encontram de acordo com determinados critérios, como a frequência de utilização dos aparelhos ou o tempo de funcionamento entre o arranque e a paragem dos ciclos de funcionamento. Por fim, na terceira fase é construído o perfil de consumo dos aparelhos e calculada a energia elétrica consumida pelo aparelho.

---

<sup>4</sup> Esta eficácia foi calculada através da percentagem de energia total da habitação que o método foi capaz de identificar para o nível de classes dos aparelhos.



**Figura 5** Etapas de funcionamento do algoritmo desenvolvido para o termoacumulador elétrico [FARINNACIO et al, 1999]

Como desvantagens deste método podem apontar-se o longo período de treino do algoritmo assim como o fato de não ser capaz de distinguir aparelhos com assinaturas elétricas semelhantes. Contudo, no que respeita aos dois aparelhos sobre os quais o estudo incidiu, o algoritmo provou ter bons resultados, apresentando eficácias de deteção de aparelhos de aproximadamente 80%.

Outro método que se baseia também nas variações de potência ativa, é o método de Baranski e Voss [BARANSKI et al, 2003], [BARANSKI et al, 2004a] e [BARANSKI et al, 2004b]. Este método utiliza um sensor de baixo custo para monitorizar a potência ativa da habitação, com um período de amostragem de 1 segundo. Diferencia-se, portanto, do

trabalho anteriormente abordado por não necessitar de um período de treino para o algoritmo, uma vez que se baseia num histograma, com dados históricos de assinaturas elétricas de aparelhos. Neste sentido, utiliza um algoritmo de otimização de forma a detetar eventos que tenham ocorrido com uma percentagem maior à estabelecida. Posteriormente, com um método de agrupamento, atribuem a assinatura elétrica do respetivo aparelho. Os autores não referem nenhuma informação acerca dos dados obtidos assim como dos resultados relativos à eficácia de deteção de aparelhos [ZOHA, 2012].

### **2.1.1.3. Assinaturas elétricas compostas por várias características**

Em 2010, de forma a incrementar a eficácia dos métodos anteriormente desenvolvidos no âmbito do NILM, os autores [RUZZELLI et al], desenvolveram um sistema baseado em redes neuronais, denominado RECAP (*RE*Cognition of *electrical Appliances and Profiling in real-time*). Este modelo tem como particularidade a adição de vários parâmetros característicos dos aparelhos, de forma a acrescentar mais informação a fatores como a potência ativa e reativa (utilizados em estudos anteriores). O método monitoriza ainda o fator de potência, o pico de corrente e tensão e o valor eficaz da corrente e tensão, totalizando, deste modo, 6 características. Por exemplo, o fator de potência poderá discriminar aparelhos indutivos, capacitivos ou resistivos, enquanto que, o pico de corrente, poderá indicar a quantidade máxima de energia permitida pelo aparelho antes de entrar em funcionamento. Deste modo, os autores possuem mais informação que poderá ser útil para distinguir aparelhos com assinaturas elétricas semelhantes.

O RECAP foi testado num cenário real de uma cozinha, onde se monitorizaram alguns equipamentos como o micro-ondas, a chaleira ou o frigorífico. O algoritmo provou ter uma eficácia de deteção de aparelhos superior a 84%. Como desvantagem, este método apenas permite identificar cargas do tipo 1 (*ON/OFF*). No entanto, a grande vantagem reside no fato de se tratar de uma solução de baixo custo, permitindo também um interface gráfico para o utilizador.

### **2.1.2. TÉCNICAS BASEADAS EM ANÁLISE DE DADOS DE ALTA FREQUÊNCIA**

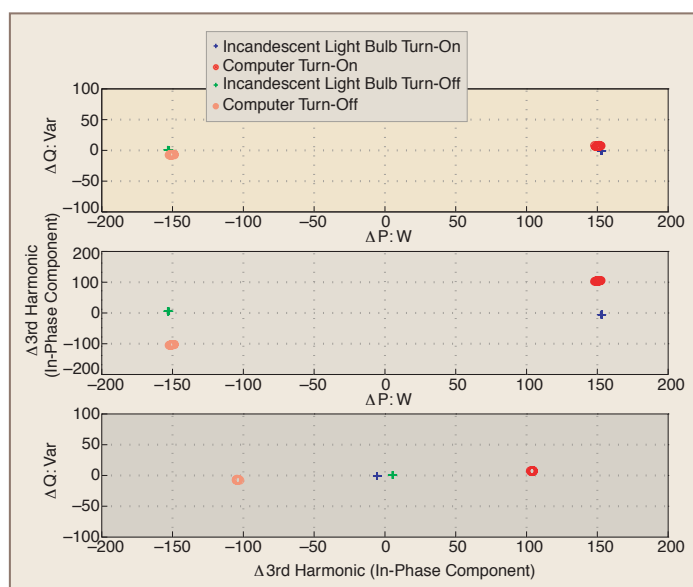
De forma a suprir algumas fragilidades dos métodos referentes ao uso de dados de baixa frequência, alguns autores optaram por estudar os regimes transitórios através da análise de dados de elevada frequência. Deste modo, é possível estudar o regime transitório dos sinais e, assim, distinguir aparelhos que apresentem assinaturas elétricas semelhantes. Como

desvantagem deste tipo de técnicas encontra-se a grande quantidade de informação que se recolhe devido ao número de amostras por segundo ser elevado. Tipicamente, os sensores que se enquadram nesta categoria apresentam períodos de recolha de amostras inferiores a 1 segundo.

### 2.1.2.1. Harmónicos de corrente do regime transitório

O estudo de harmónicos pode permitir, sobretudo para edifícios comerciais e industriais, um método mais sofisticado visto que possuem uma maior quantidade de aparelhos e, conseqüentemente, de eventos. Os autores deste estudo [LAUGHMAN et al, 2003] afirmam ser possível distinguir alguns aparelhos que, aquando de um método baseado em estados estacionários, não seria possível. Alguns desses equipamentos enquadram-se em aparelhos de escritório (computador, impressora), ventiladores reguláveis ou outras cargas de consumo variável.

O sistema de monitorização utiliza a transformada rápida de Fourier (FFT) do sinal da corrente, com uma frequência de amostragem de 8000Hz, de forma a avaliar as envolventes espectrais que sumarizam as componentes harmónicas ao longo do tempo. Por exemplo, os autores atestam que a análise do terceiro harmónico é característica do sinal de um computador e pode ser utilizada para o distinguir de uma lâmpada incandescente. Tal exemplo pode ser confirmado pela análise do gráfico central da figura 6.



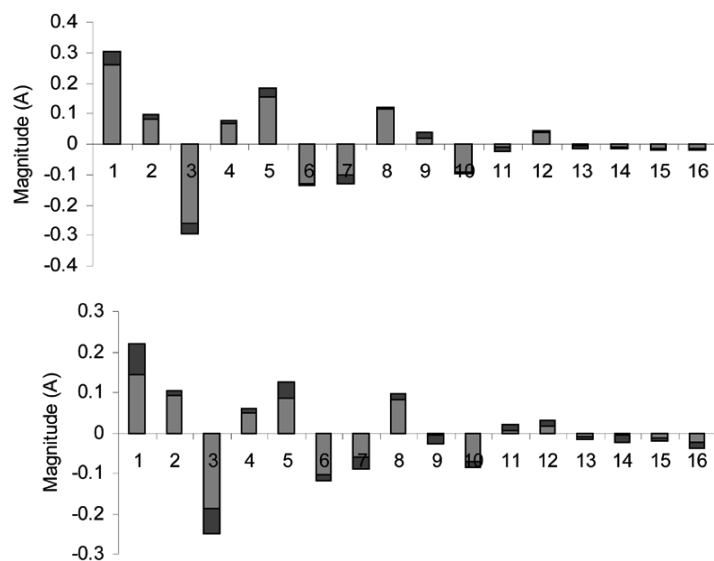
**Figura 6** A análise do terceiro harmónico permite a distinção entre um computador e uma lâmpada incandescente [LAUGHMAN et al, 2003]

Uma vez que a frequência de amostragem é muito elevada, torna-se difícil armazenar uma quantidade elevada de dados. Por isso, os autores apenas têm em consideração os sinais transitórios, pelo que, deste modo, não conseguem estimar o consumo de energia elétrica de um aparelho identificado, que é também um dos objetivos do NILM. Como forma de resolver esta desvantagem, os autores [LEE et al, 2005] e [WICHAKOOL et al] propuseram uma solução baseada na relação do consumo de energia ativa e reativa com o quinto e sétimo harmónico de uma carga de consumo variável [ZOHA et al, 2012].

Apesar dos métodos aplicados aos harmónicos dos regimes transitórios permitirem distinguir aparelhos com cargas variáveis, existem algumas desvantagens associadas. Primeiro, é necessário um elevado período de tempo de treino para cada aparelho antes de se iniciar a monitorização e classificação de aparelhos. Segundo, a eficácia do método não foi caracterizada para cenários práticos. Por fim, não se sabe se o método é robusto, ou seja, se, aquando do aparecimento de assinaturas elétricas de aparelhos desconhecidos, a sua performance será afetada. Em nenhum dos trabalhos foram apresentados resultados referentes às eficácias de desagregação dos aparelhos em estudo.

#### **2.1.2.2. Harmónicos de corrente do estado estacionário**

Nesta pesquisa, os autores [SRINIVASAN et al, 2006] privilegiaram o estudo dos harmónicos no estado estacionário, de forma a evitar alguns dos problemas evidenciados no subcapítulo anterior. O trabalho incidiu, essencialmente, sobre 8 aparelhos, sendo estes, um monitor, um frigorífico, um ventilador, um computador, um carregador de bateria, uma televisão, uma lâmpada incandescente e uma lâmpada fluorescente. Estes autores decidiram utilizar redes neuronais para deteção dos aparelhos. Como a monitorização contínua implica o funcionamento de mais do que um aparelho ao mesmo tempo, torna-se, deste modo, necessária a desagregação de cargas ou então que o sistema seja previamente treinado para obter todas as combinações possíveis. Os autores elegeram a segunda opção, pelo que precisaram de treinar a rede neuronal para  $2^8 = 256$  possíveis combinações de *ON/OFF* dos 8 aparelhos em estudo. As assinaturas dos harmónicos não se revelaram muito distintas, como se pode observar pela figura 7, onde se apresentam as assinaturas dos harmónicos de um monitor (figura de cima) e de um computador (figura de baixo).



**Figura 7 Assinaturas elétricas dos harmônicos de um monitor e de um computador respetivamente [SRINIVASAN et al, 2006]**

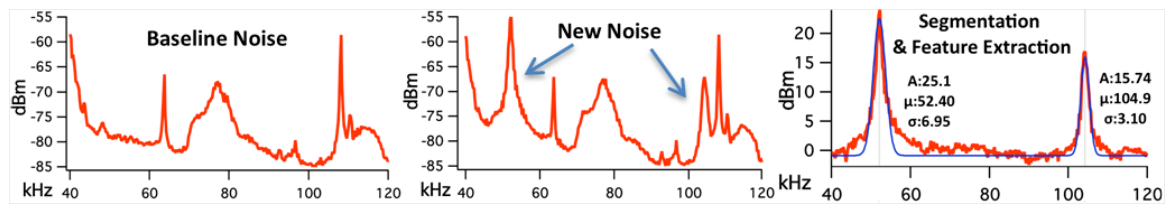
Mesmo assim, apesar das pequenas diferenças dos sinais, o método revelou ter uma eficácia de deteção entre 80 a 90%. No entanto, este método não é muito prático, pois numa habitação típica existem entre 30 a 50 aparelhos, o que daria um número muito elevado de combinações, e, conseqüentemente, dificultaria a aplicação do método [ZOHA et al, 2012].

### 2.1.2.3. Análise do ruído no sinal de tensão

Em 2010 foi divulgado um estudo denominado *ElectriSense*, que se apresenta no seguimento de um estudo inovador, apresentado pelos mesmos autores três anos antes. O estudo inicial [PATEL et al, 2007] diferenciava-se pela utilização do sinal do ruído da tensão monitorizado em qualquer tomada da habitação. Como o ruído está presente em toda a instalação, os autores foram capazes de detetar aparelhos ligados a outras tomadas que não a mesma onde se encontrava o sensor. No estudo mais recente [GUPTA et al, 2010], os autores referiram alguns problemas existentes na pesquisa anterior, nomeadamente, os custos elevados na aquisição e monitorização do ruído assim como a necessidade de treino para cada aparelho individualmente.

O *ElectriSense* baseou-se no fato de a maioria dos dispositivos electrónicos modernos e lâmpadas fluorescentes empregarem fontes de alimentação comutadas para atingirem altas eficiências. Estas fontes geram ruído electromagnético de altas frequências na instalação. Ao sinal de ruído monitorizado aplica-se a transformada rápida de Fourier. Os gráficos da

figura 8 exemplificam um evento no sinal de ruído da instalação. Na figura do lado esquerdo pode observar-se o ruído da instalação enquanto que, na figura central, pode constatar-se a ocorrência de um evento que produz ruído electromagnético. A figura do lado direito demonstra o funcionamento do método, onde a diferença entre o espectro de amplitude do ruído do evento e o ruído base imediatamente anterior é calculado. O resultado desta operação origina o espectro de amplitude do ruído do aparelho em questão.



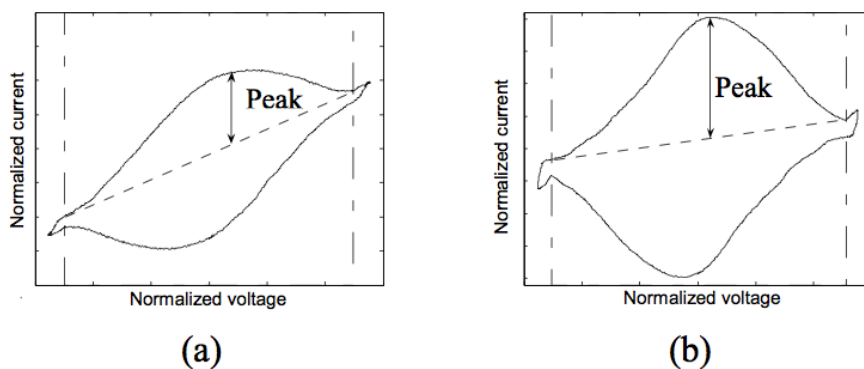
**Figura 8 Metodologia de identificação de aparelhos através da análise do ruído do sinal [GUPTA et al, 2007]**

O *ElectriSense* apresenta algumas vantagens, mas também algumas limitações. Como vantagens, tem o fato de poder ser facilmente instalado, pois opera em qualquer tomada da habitação, além do que, permite distinguir dispositivos elétricos com assinaturas semelhantes. Como desvantagens, os autores referem que se um aparelho for ligado a uma tomada diferente daquela onde foi obtida a sua assinatura, o mesmo poderá não ser identificado. Também não é totalmente claro que o ruído de outras habitações (sobretudo num apartamento) possa influenciar a deteção de aparelhos. Outra desvantagem que se poderia apontar é que os autores não conseguiram encontrar ruído electromagnético de dispositivos como máquinas de secar roupa ou fogões elétricos. Ainda, note-se, que nem todos os equipamentos modernos possuem fontes de alimentação comutadas, o que também se revela como sendo um inconveniente deste método. Por fim, e em semelhança ao estudo mencionado em 2.1.2.1, este método também não permite o cálculo da energia consumida pelo aparelho, referindo apenas o momento de deteção do aparelho [ZOHAN, 2012]. Apesar de todas estas desvantagens, o método foi testado com uma frequência de amostragem de 1MHz, em 7 habitações, durante um período de seis meses. Durante o período de teste, monitorizaram 2576 eventos, com uma eficácia de deteção de 93,82%.

#### **2.1.2.4. Propriedades das curvas V-I**

Outros autores têm procurado novas formas para implementar métodos associados ao NILM, de forma a obterem maior performance aquando da desagregação de cargas. Neste

estudo [LAM et al, 2007] foi desenvolvido um método com o objetivo de identificar aparelhos elétricos domésticos, baseando-se na curva V-I para construção de assinaturas elétricas em duas dimensões. A metodologia do algoritmo segue o seguinte formato: primeiro, são monitorizadas as formas de onda da corrente e da tensão dos aparelhos da habitação para, em seguida, as assinaturas elétricas na forma de V-I serem construídas. Na terceira fase são extraídas das assinaturas algumas características de forma, como a assimetria, área, sentido da curva, declive do segmento intermédio, entre outros. Posteriormente, é utilizado um método de agrupamento de aparelhos semelhantes através de um processo hierárquico. Por fim, depois dos resultados de agrupamento dos aparelhos semelhantes, estes são classificados para serem comparados com estudos prévios. Na figura 9 pode observar-se as curvas V-I de dois aparelhos, que se apresentam bastante distintas apesar das suas formas de onda serem semelhantes. A figura a) representa um rádio enquanto que, a figura b), representa um leitor de CD em modo *standby*.



**Figura 9** Curvas V-I de um rádio (figura a) e de um leitor de CD (figura b) [LAM et al, 2007]

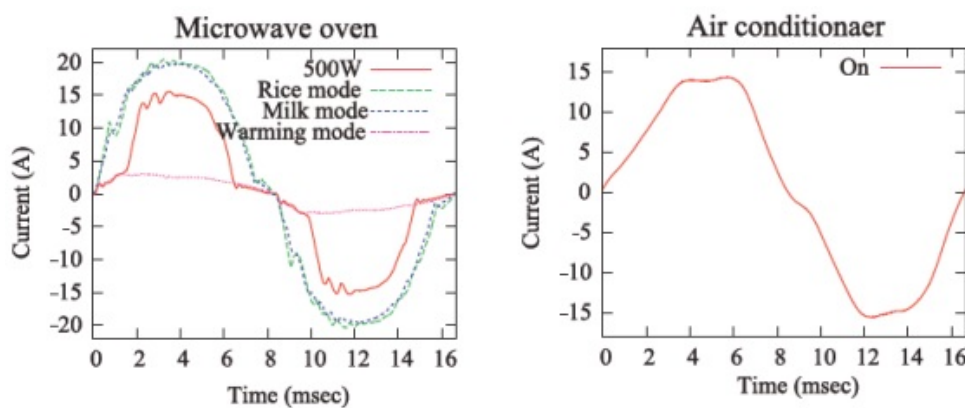
Apesar da inovação que este método apresentou em relação à temática do NILM, os autores não apresentaram um método de desagregação de cargas baseado neste tipo de características e, conseqüentemente, não foi reportada nenhuma eficácia na deteção de aparelhos.

#### **2.1.2.5. Forma de onda do sinal de corrente inalterado**

Nesta pesquisa, os autores [SUZUKI et al, 2008] desenvolveram um algoritmo baseado na monitorização de dados da forma de onda da corrente. Este método utiliza uma técnica de otimização, denominada *Integer Programming*, com o objetivo de encontrar os aparelhos em funcionamento através da análise da corrente total monitorizada. Para a otimização ser aplicada, os autores necessitaram, desde logo, de recolher os dados da corrente dos

aparelhos em funcionamento, tendo, para isso, acionado cada um de forma independente. Este processo é semelhante ao método manual do NALM explicado na secção 2.1.1.1.

Os dados monitorizados foram obtidos com uma frequência de 40kHz e, apesar de revelarem resultados aceitáveis (entre 62,7% e 96,8%), as assinaturas podem ser confundidas, pois não são utilizadas características específicas, quando comparado com outros autores. Na figura 10, é possível observar a semelhança entre a forma de onda da corrente de um micro-ondas em comparação com um equipamento de ar condicionado.

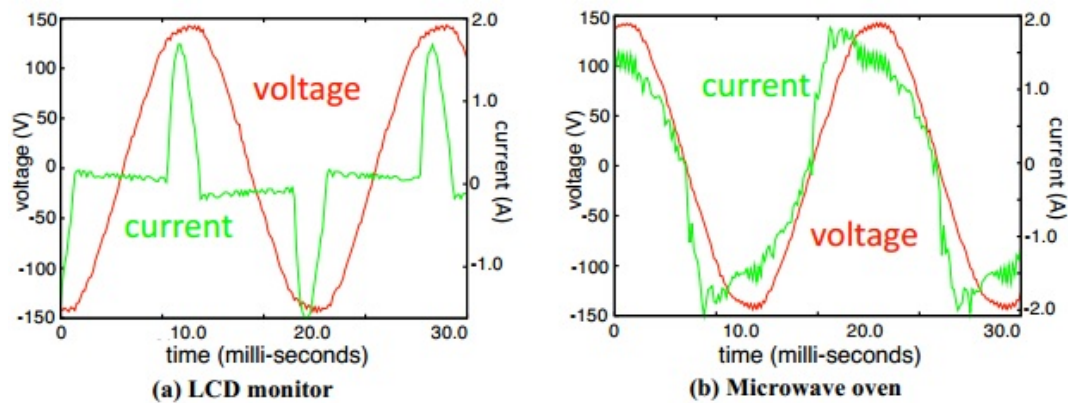


**Figura 10** Forma de onda da corrente de um micro-ondas (figura da esquerda) e de um sistema de ar condicionado (figura da direita) [SUZUKI et al, 2008]

A semelhança entre as assinaturas elétricas é evidente, pelo que este método não acrescenta grandes inovações no âmbito do NILM

#### 2.1.2.6. Variações no sinal da tensão e corrente

No estudo de [KATO et al], os autores utilizaram apenas os valores obtidos da tensão e corrente, pois consideraram ser informação suficiente para a desagregação de aparelhos. Tal pode confirmar-se pela figura 11, em que se comparam as formas de onda de corrente e tensão de um micro-ondas e de um monitor LCD. Para aparelhos com assinaturas elétricas não conhecidas, os autores utilizam técnicas de SVM (*Support Vector Machine*) para reconhecimento de novos aparelhos.



**Figura 11** Forma de onda da tensão e corrente de um monitor (figura a) e de um micro-ondas (figura b) [KATO et al]

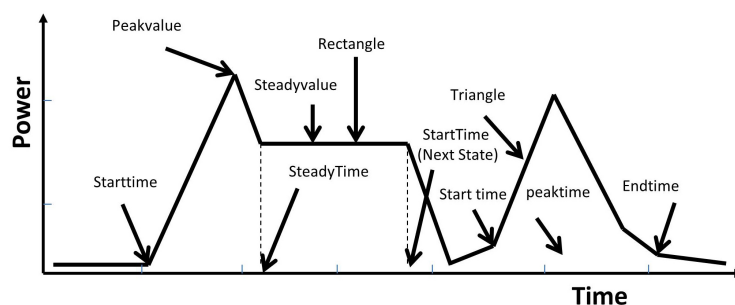
Esta pesquisa não engloba aparelhos do tipo 3 e 4, no entanto, para aparelhos do tipo 1 e 2 provou a sua eficácia aquando da deteção de aparelhos. Num estudo realizado para 25 equipamentos, o algoritmo identificou 95,8% dos aparelhos corretamente.

### 2.1.3. TÉCNICAS DE CARACTERÍSTICAS NÃO TRADICIONAIS

As técnicas apresentadas nos dois subcapítulos anteriores, 2.1.1 e 2.1.2, consideram-se técnicas tradicionais, pois incidem sobre o estudo das transições de estado estacionário ou de estado transitório, estando já consolidadas e apresentando bons resultados. Recentemente, tem surgido um interesse em métodos não tradicionais para encontrar novas características das assinaturas elétricas de aparelhos.

#### 2.1.3.1. Quadrados e triângulos

Os autores [WANG et al, 2010] propuseram que o consumo de energia de dispositivos residenciais fosse descrito pela combinação de duas unidades básicas, triângulos e retângulos, negligenciando pequenas flutuações e erros. A unidade de triângulo pode ser expressa em tempo de início (*starttime*), tempo de pico (*peaktime*), valor de pico (*peakvalue*) e tempo final (*endtime*). Por sua vez, o quadrado pode ser descrito como tempo de início (*starttime*), tempo de pico (*peaktime*), valor de pico (*peakvalue*), tempo de estado estacionário (*steadyttime*) e potência de estado estacionário (*steadypower*). Um exemplo deste método pode ser observado na figura 12.



**Figura 12 Perfil do consumo evidenciando os quadrados e triângulos [WANG et al, 2010]**

Este estudo utiliza técnicas de agrupamento de aparelhos que apresentem características semelhantes. Provou ter eficácia de performance de 80% para a desagregação de aparelhos e tem como vantagem o fato de não necessitar de tempo de treino [ZOHA et al, 2012].

#### **2.1.3.2. Potência ativa aliada a outras características**

Em 2011 foi apresentado um trabalho baseado em técnicas não tradicionais, que emprega novas características (não relacionadas com o consumo de energia) além da análise do estado estacionário da potência ativa abordada anteriormente [KIM et al, 2011]. Algumas dessas características são, nomeadamente, a duração de *ON/OFF*, dia e hora, dependência de uns aparelhos com outros e ainda os horários dos ocupantes da habitação. Os autores utilizaram como métodos de desagregação de cargas os modelos de Markov. Este método provou ter bons resultados, porém, os autores criaram uma nova medida de avaliação do método que é distinta da habitual eficácia de deteção de aparelhos, pelo que não será apresentada neste trabalho.

Semelhante a este, pode referir-se um trabalho apresentado no ano de 2012 [ZEIFMAN et al, 2012]. Mais uma vez, foram utilizadas variações na potência ativa aliada a características como o tempo de duração do aparelho, dia e hora, assim como a dados históricos dos dispositivos para dar início à fase de desagregação. O algoritmo foi testado num cenário real, revelando uma eficácia de deteção de aparelhos entre 80 e 90% [ZOHA, 2012].

#### **2.1.4. RESUMO**

De forma a sintetizar as técnicas de desagregação de cargas abordadas até ao momento, no que diz respeito à energia elétrica é, em seguida, apresentada a tabela 2, que resume as principais características de cada método.

**Tabela 2 Quadro resumo com as principais características das técnicas NILM**

<b>Estudo/ano</b>	<b>Método</b>	<b>Tipo de dados</b>	<b>Tipo de aparelhos</b>	<b>Frequência de dados</b>	<b>Performance</b>
Hart - 1992	Correspondência entre mudanças de estado estacionário com base de dados	Potência ativa e reativa	Tipo 1 e 2	1 Hz	86%
Farinaccio - 1999	Correspondência entre mudanças de estado estacionário e outros critérios com base de dados	Potência ativa	Sistema de aquecimento de água e frigorífico	0,0625 Hz	80%
Ruzelli - 2010	Classificação baseada em rede neuronal	Potência ativa, reativa, fator de potência, pico de corrente e tensão, valor eficaz da corrente e tensão	Tipo 1	-	84%
Baranski - 2003 Baranski - 2004 Baranski - 2004	Correspondência de dados históricos através de algoritmo de otimização e de agrupamento	Potência ativa	-	1Hz	-
Laughman - 2003	Identificação de eventos baseado nas	Corrente	-	8kHz	-

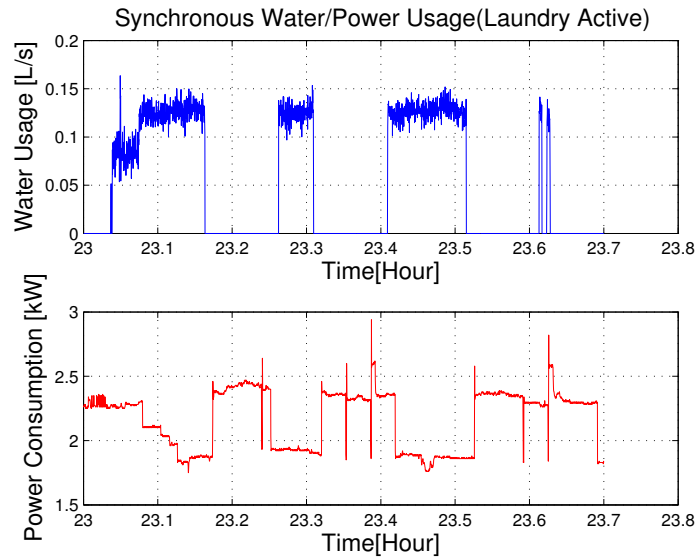
	componentes espectrais transitórias				
Srinivasan - 2006	Classificação baseada em rede neuronal através da análise de harmônicos no estado estacionário	-	Tipo 1 e 3	-	80 a 90%
Gupta - 2010	Agrupamento de aparelhos baseado em componentes harmônicos	Tensão	Pequenos equipamentos eletrônicos como LCD, LED TV e consolas.	1MHz	94%
Lam - 2007	Curva V-I	Tensão, corrente	-	-	-
Suzuki - 2008	Programação inteira	Corrente	-	40kHz	62,7% a 96,8%
Kato	Correspondência de dados históricos aliados a técnicas de SVM	Tensão, corrente	Tipo 1 e 2	-	95,8%.
Wang - 2012	Quadrados e triângulos	Potência ativa	-	-	80%
Kim – 2011 Zeifman - 2012	Modelo probabilístico baseado em modelos de Markov	Potência ativa, data, hora, dependência de aparelhos	Tipo 1 e 2	-	-

## **2.2. TÉCNICAS NILM – ÁGUA**

A desagregação de energia elétrica é já um tema consolidado, com vários estudos publicados durante as duas últimas décadas. Recentemente, o universo científico tem vindo a preocupar-se também com outros recursos como a água. Como tal, alguns estudos têm surgido neste âmbito e serão abordados em seguida.

### **2.2.1. MONITORIZAÇÃO DIRETA DO CONSUMO DE ÁGUA**

Os autores [KIM et al, 2009] divulgam, na sua pesquisa, os desafios da monitorização de recursos energéticos em espaços residenciais. Numa habitação comum, os equipamentos têm um padrão distinto de utilização de água uma vez que são mecanicamente controlados (máquina de lavar roupa ou loiça, autoclismo, sistemas de rega). Como são equipamentos utilizados esporadicamente, são únicos o suficiente para se identificarem padrões na análise de dados. Através de um medidor de água, podem ser observados eventos como o acionamento do autoclismo, de máquinas de lavar e de sistemas de rega. Os autores recolheram dados de uma habitação da Califórnia relativamente à energia elétrica e água consumida, com uma frequência de amostragem de 1Hz. Utilizaram o método de reconhecimento de padrões para detetar eventos, afirmando que conseguem identificar o autoclismo com cerca de 90% de eficácia e o sistema de rega com 100%, no entanto, a utilização da água da torneira ou eventos em que vários sistemas estejam a consumir água em simultâneo, necessitam de mais sensores do que apenas o de consumo geral de água. Os autores afirmam que a monitorização de vários recursos em simultâneo permite uma maior performance na desagregação de aparelhos. Isto, uma vez que, numa habitação, existem vários dispositivos que utilizam pelo menos dois recursos como o fogão a gás, a máquina de lavar roupa (MLR) ou a máquina de lavar loiça (MLL). Na figura 13, apresenta-se um exemplo de um ciclo de lavagem de uma máquina de lavar roupa, onde na figura de cima está presente o consumo de água e na figura de baixo o consumo de energia elétrica.

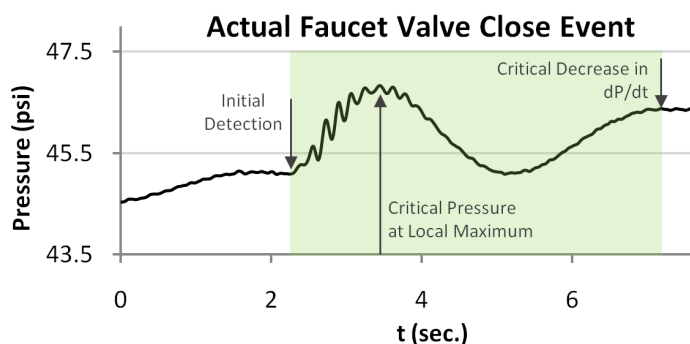


**Figura 13** Consumo de água e energia elétrica em simultâneo [KIM et al, 2009]

Apesar da monitorização realizada pelos autores, não é referida a eficácia do método para outros equipamentos como a máquina de lavar roupa ou loiça, por exemplo.

### 2.2.2. MONITORIZAÇÃO DA PRESSÃO DE ÁGUA

Em 2009 foi apresentado um aparelho de medição de pressão num único ponto da instalação, denominado *HydroSense*, que realiza tanto a identificação de uma atividade que envolva água, como uma estimativa da quantidade de água utilizada por cada evento [FROEHLICH et al, 2009]. O sensor é baseado numa análise contínua de pressão na canalização de água e, por sua vez, a identificação dos aparelhos que utilizam água é realizada através das ondas de pressão únicas que o sensor recebe quando se abre ou fecha uma válvula. O sensor de pressão pode ser instalado em qualquer parte da canalização de água, pois a pressão é sentida em toda a instalação, conseguindo, dessa forma, identificar aparelhos individuais que estejam a consumir água. O *HydroSense* permite identificar autoclismos, uma torneira da cozinha, um duche, entre outros. Na figura 14, apresenta-se um exemplo de uma torneira de cozinha a ser acionada e desligada.



**Figura 14** Evento detetado relativo a uma torneira de cozinha [FROEHLICH et al, 2009]

A metodologia dos autores no desenvolvimento do algoritmo baseou-se da seguinte forma: primeiro recolheram dados de forma individual dos aparelhos em estudo de cada habitação e, em seguida, segmentaram cada evento para identificar o início e o fim para futura análise. Posteriormente, classificaram cada evento hierarquicamente como válvula aberta ou válvula fechada com base no fato de a pressão estar a subir ou a descer, respetivamente. Por fim, fizeram corresponder os eventos aos dados individuais previamente guardados.

Os autores recolheram dados com uma frequência de amostragem de 1kHz em 10 casas de 4 cidades diferentes. O algoritmo revelou ter uma performance para desagregação de eventos de 97,9%.

### 2.2.3. ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

O NAWMS (*Nonintrusive Autonomous Water Monitoring System*) foi desenvolvido por [KIM et al, 2008] e utiliza sensores de vibração na instalação, para, em simultâneo com o contador de água principal, calcular onde e quando ocorreu uma descarga de água, assim como estimar o seu consumo.

Na experiência realizada, o método proposto revelou ter resultados muito satisfatórios, visto que apresentou um erro na deteção de eventos inferior a 10%. A principal desvantagem deste tipo de abordagem é o fato de necessitar de múltiplos sensores durante a instalação, sendo considerada uma abordagem de monitorização intrusiva.

## 2.3. TÉCNICAS NILM – GÁS

Além da água e eletricidade, o gás é um recurso energético frequente nas habitações residenciais, assim como em instalações comerciais e industriais. A monitorização deste recurso permite ao utilizador conhecer melhor quanto consomem os equipamentos

podendo, conseqüentemente, resultar numa possível poupança de energia. Além do que, a monitorização deste recurso, em simultâneo com a energia elétrica, analogamente ao subcapítulo 2.2, pode permitir uma melhor performance na desagregação de cargas em aparelhos que utilizem gás e energia elétrica.

Outro aspeto importante na monitorização de gás é o fato de o utilizador não ter noção da quantidade de gás que está a consumir quando utiliza o fogão ou o sistema de aquecimento de água, nem qual dos equipamentos tem maior impacto na fatura final do consumo de gás. Deste modo, a monitorização e desagregação destes equipamentos torna-se uma mais valia para o utilizador.

### **2.3.1. ANÁLISE DE DADOS DE ÁUDIO**

No estudo de [COHN et al], os autores desenvolveram um sensor de gás denominado *GasSense*, de ponto de monitorização único, que apresenta uma eficácia de identificação de aparelhos de 95,2%. Este sensor identifica a intensidade áudio do gás a passar sobre o regulador de pressão, o que permite, posteriormente, o cálculo do consumo de gás através de uma relação linear. A desagregação de cargas é realizada através da aplicação da transformada de Fourier aos dados de áudio recolhidos de forma a excluir o ruído e por um algoritmo de deteção de aparelhos.

Para provar a eficácia anteriormente apresentada, foram recolhidos 496 eventos de gás, em que 175 foram isolados e 321 em simultâneo, o que significa que o *GasSense* apresenta uma performance elevada, pois mais de metade dos eventos foram recolhidos com vários dispositivos de gás a funcionar ao mesmo tempo. É de referir ainda que os dados de áudio foram recolhidos a 22050 amostras por segundo.

### **2.3.2. OUTROS ESTUDOS**

Devido ao número reduzido de aparelhos que utilizam gás numa habitação, alguns autores [CHEN et al, 2005], [KIM et al, 2009] e [WILSON et al, 2005] consideraram a instalação de um sensor em cada aparelho. Esta abordagem não se engloba nos objetivos do NILM e a esta acrescem algumas desvantagens. Primeiro, é necessário que os sensores sejam robustos o suficiente para serem facilmente instalados e adaptáveis a qualquer dispositivo de gás. Em segundo lugar, um número elevado de sensores aumenta a complexidade da instalação, principalmente a comunicação com o recetor de dados. Por fim, o gás é um

composto altamente inflamável, pelo que, é desejável que as abordagens sejam seguras e de fácil instalação, não necessitando de um técnico especializado para a sua instalação [COHN et al].

## **2.4. TECNOLOGIAS NILM**

Relativamente às tecnologias NILM, existem no mercado alguns equipamentos que congregam o *hardware* necessário com algumas das técnicas abordadas anteriormente. Durante este subcapítulo serão apresentadas algumas tecnologias disponíveis no mercado atual, assim como as suas principais características.

### **2.4.1. REDY**

O Redy foi lançado no início do ano de 2014, e é um equipamento desenvolvido pela EDP, que permite que o utilizador monitorize e controle os consumos agregados, assim como os consumos individuais de alguns equipamentos. Mediante uma assinatura mensal de 5,90€, além da adesão de 99€, o consumidor terá acesso a uma série de funcionalidades. O utilizador poderá controlar os respetivos equipamentos através de *Smartphone* ou *Tablet*, ordenando que estes liguem ou desliguem quando solicitado. Tem ainda a possibilidade de aceder ao consumo instantâneo de cada equipamento para, deste modo, conhecer os aparelhos que maior consumo produzem, assim como conhecer o consumo agregado da habitação. Será ainda possível receber avisos importantes acerca de equipamentos como, por exemplo, no caso de o frigorífico deixar de funcionar [EDP, 2014].

Este equipamento, no entanto, segue a linha da monitorização intrusiva de cargas, pois recorre a várias tomadas inteligentes para monitorizar os aparelhos individuais desejados, e, quanto a isto, já foram abordadas anteriormente as suas vantagens e desvantagens.

### **2.4.2. TED 5000**

Esta solução, da autoria da empresa Energy Inc., sediada nos Estados Unidos da América, apresenta duas hipóteses de monitorização de energia elétrica assim como de desagregação de cargas, uma para o ramo residencial e outra para o comercial. Como o âmbito deste trabalho se insere no ramo residencial, dar-se-á maior ênfase à solução residencial TED 5000. Dentro desta gama, o fabricante possui duas ofertas diferenciadas apenas por um *display*. A série 5000-C apresenta um *display* interativo, enquanto a série 5000-G apenas

disponibiliza o *software*. Este *display* permite ao utilizador visualizar os consumos em tempo real, leituras de tensão e a fatura elétrica esperada.

O TED 5000 recorre apenas a um sensor instalado no painel elétrico e é composto por um transformador de corrente em forma de pinça e uma unidade de medida de transmissão de dados. O transformador de corrente tem uma precisão de 1W +/- 2%. Esta pinça está diretamente ligada a uma unidade de medida e transmissão de dados (MTU – *Measuring Transmitting Unit*) que envia os dados obtidos através das redes de energia elétrica (*Powerline Carrier Communication*) ou através de uma ligação *Ethernet*. Posteriormente, um centro de controlo de energia (ECC – *Energy Control Center*) analisa e guarda os dados em tempo real da eletricidade. O *software* utilizado pelo TED 5000 é o *TED Footprints Software* e pode ser utilizado em qualquer computador, *smartphone* ou *display wireless*, possibilitando a obtenção em tempo real dos consumos em kW/h e em dólares, auxiliando, desta forma, o utilizador a reduzir a fatura energética [TED].

O TED 5000 permite a monitorização, em tempo real, dos consumos agregados da habitação, a consulta de dados históricos assim como a visualização de gráficos de consumo para a escala temporal estipulada pelo utilizador. A acrescentar a estas possibilidades, esta tecnologia permite identificar até 5 equipamentos elétricos, identificando o momento em que se ligam e desligam. Previamente, o utilizador terá de introduzir os aparelhos que deseja monitorizar individualmente para o *software* “aprender” as suas assinaturas elétricas. O fabricante recomenda que, nesta fase, todos os equipamentos da habitação estejam desligados para um melhor reconhecimento dos padrões de funcionamento. A acrescentar a isso, o fabricante também recomenda que se introduzam grandes cargas, pois têm características mais específicas, enquanto que, os aparelhos de pequeno consumo, poderão ser confundidos com aparelhos semelhantes.

O preço deste equipamento varia em conformidade com o número de aparelhos de medida ou com a inclusão ou não de *display*. Tipicamente, o preço de aquisição poderá variar entre os 180€ e os 335€ dependendo do número de sensores desejados. Na figura 15, apresentam-se os principais componentes da solução residencial TED 5000-C [TED, 2009].



Figura 15 TED 5000-C [TED]

### 2.4.3. POWERSAVVY

Esta solução tem como objetivo a monitorização dos consumos da habitação assim como a desagregação de aparelhos com o intuito de poupança na fatura energética por parte do utilizador. O utilizador tem a possibilidade de incorporar o sistema *Intuition-e* de forma a monitorizar constantemente o consumo agregado da habitação. A acrescer a esta funcionalidade, pode instalar-se o sensor apenas durante 6 dias onde o mesmo recolherá mais de 10000 amostras. De seguida, retira-se o sensor e insere-se os dados no algoritmo de desagregação desenvolvido pela empresa. Os dados serão analisados e desagregados nas seguintes categorias: equipamentos para cozinhar, máquina de lavar e secar roupa, máquina de lavar loiça, aquecimento de água e ambiente, equipamentos de refrigeração, equipamentos ligados permanentemente ou em *standby*, utilização noturna (televisão, luzes, etc.). Foram consideradas estas categorias pois é espectável que contribuam em 80% do consumo total da habitação. A acrescentar a estes recursos, o algoritmo também faz uma estimativa, em euros, de quanto cada categoria contribui para o total da fatura energética. A empresa disponibiliza alguns casos de estudo realizados com esta solução. Na figura 16 apresenta-se um desses exemplos.

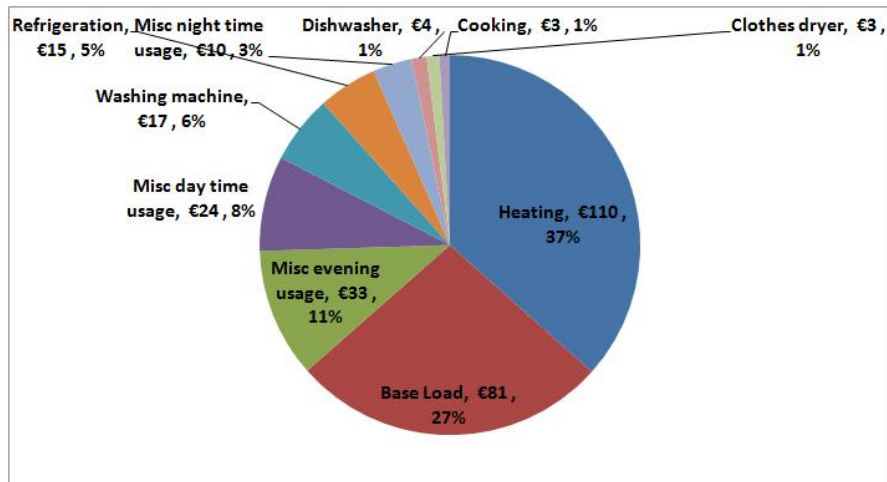


Figura 16 Caso de estudo relativo ao Powersavvy [POWERSAVVY]

Sabia-se que este utilizador tinha aquecimento elétrico e que este seria a maior contribuição da fatura elétrica. No entanto, não tinham conhecimento dos equipamentos que estavam ligados permanentemente ou em *standby* (27%), que eram referentes a equipamentos de escritório que estavam sempre em funcionamento sem necessidade [POWERSAVVY].

#### 2.4.4. WATTEENTERPRISE

Wattics é uma empresa Irlandesa que propõe, para monitorização e desagregação de consumo, uma solução denominada por WattEnterprise. Esta solução baseia-se num único ponto de medição, apresentando algumas inovações relativamente às soluções apresentadas anteriormente. O WattEnterprise analisa automaticamente os dados de consumo e deteta gastos excessivos não usuais, para auxiliar o utilizador na gestão de energia e a atingir os seus objetivos de poupança energética. Além de monitorizar energia elétrica, permite também monitorizar o consumo de gás natural e água. A empresa também disponibiliza no *website* alguns casos de estudo realizados onde se reduziu consideravelmente os consumos [WATTICS].

#### 2.4.5. OUTRAS SOLUÇÕES

A acrescentar às soluções abordadas em todo o subcapítulo 2.4, existem outras relativamente à monitorização não intrusiva de cargas. Apesar de cada uma apresentar as suas características, praticamente todas apresentam soluções que convergem nos objetivos iniciais da temática do NILM. Além de monitorizarem a energia agregada, possibilitam a

desagregação dos aparelhos de maior consumo energético e ainda quantificam o consumo da utilização dos aparelhos desejados. Na tabela 3, apresentam-se outras soluções semelhantes às anteriormente abordadas no que respeita à eletricidade.

As tecnologias de monitorização de recursos como o gás e água não estão, de momento, tão evoluídas como a energia elétrica. Contudo, apresentam-se também no seguinte quadro algumas soluções para a monitorização de gás e água.

**Tabela 3 Principais tecnologias associadas ao NILM**

<b>Tecnologias NILM</b>		
<b>Eletricidade</b>	<b>Gás</b>	<b>Água</b>
- Neurio	- Itron i250 - Itron Metris	- Itron Aquadis+
- Fludia	- Sensus R-275 - Sensus R-414 - Sensus Cubix	
- PowerCost Monitor	- Outros fabricantes <sup>5</sup>	
- Plotwatt		
- Verlitics		
- eMonitor		

---

<sup>5</sup> Outros fabricantes como Navetas e Elster também comercializam contadores de gás residenciais.

### 3. ASSINATURAS ELÉTRICAS DE APARELHOS

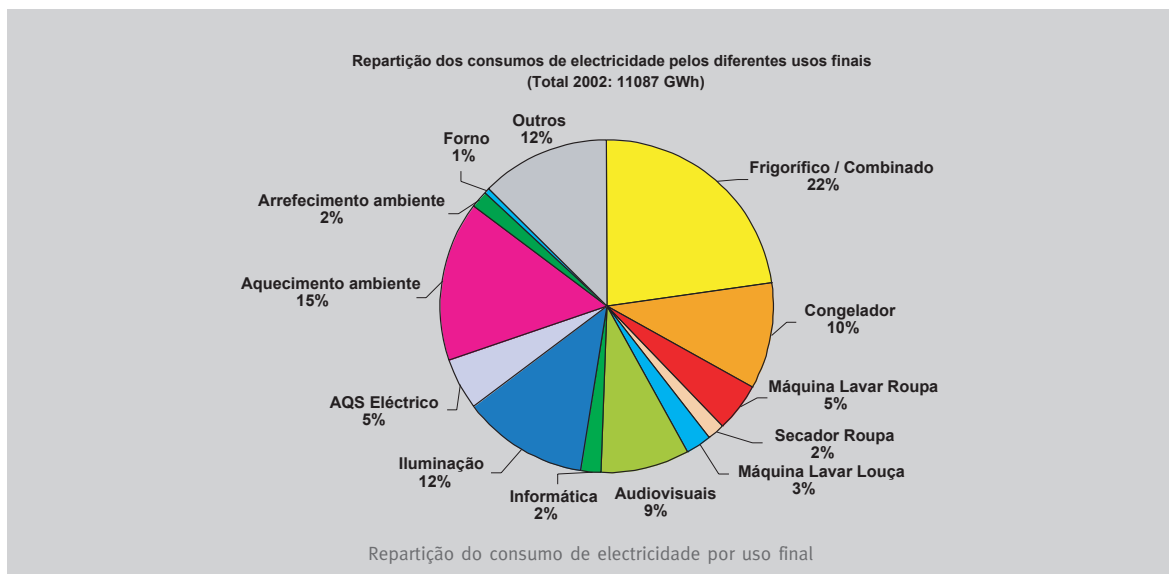
O setor doméstico está repleto de diferentes equipamentos elétricos, cada um com as suas características e especificidades. As habitações de hoje em dia possuem aparelhos de elevada, intermédia e reduzida potência. Como exemplos de aparelhos de grande consumo encontram-se a máquina de lavar roupa, a máquina de lavar loiça, o ferro de engomar ou o aspirador. Relativamente aos médios consumidores tome-se como exemplo lâmpadas de estudo ou torradeiras. As televisões, computadores e rádios são alguns exemplos de aparelhos que se podem classificar como sendo de consumo reduzido.

Da mesma forma que uma assinatura sobre um documento pretende identificar uma única pessoa, a assinatura elétrica de um aparelho afigura-lhe a sua identidade. Deste modo, a assinatura elétrica descreve-se como sendo a variação de características únicas durante o tempo de funcionamento do aparelho. Essas características podem ser, nomeadamente, a potência ativa, a potência reativa, a tensão, a corrente, os harmónicos ou o ruído do sinal. O conhecimento das assinaturas elétricas dos aparelhos permitiu o desenvolvimento de várias técnicas de desagregação de cargas, abordadas ao longo do capítulo segundo.

Durante este capítulo, serão apresentadas as assinaturas elétricas de alguns equipamentos que figuram como característicos no setor doméstico.

### 3.1. DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

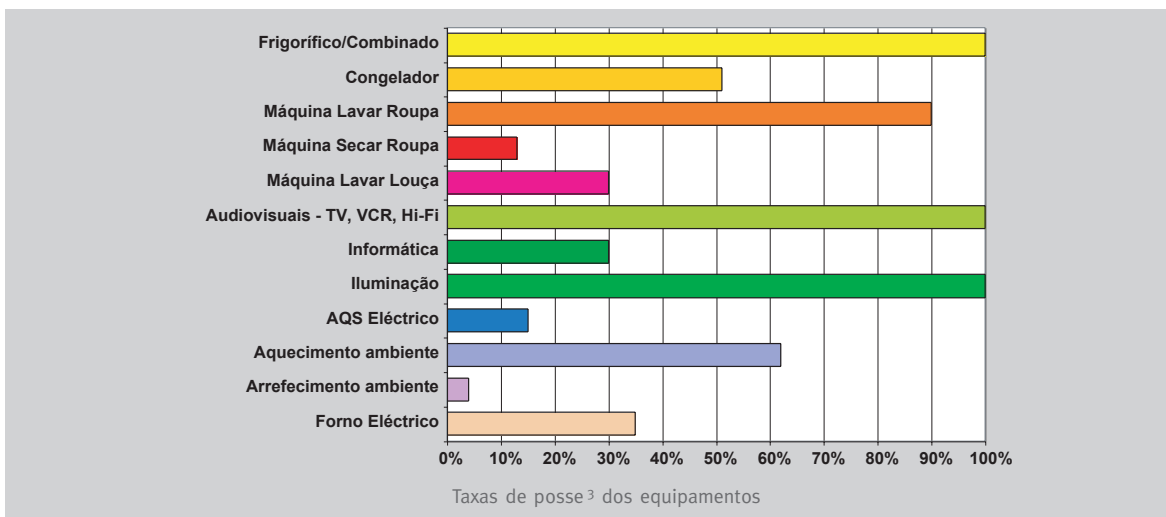
O consumo agregado de energia elétrica de uma habitação é repartido por um conjunto de equipamentos. Na figura 17 representa-se a desagregação dos consumos por tipo de utilização em Portugal [ADENE, 2004].



**Figura 17** Desagregação dos consumos totais para aparelhos ou classes de aparelhos [ADENE, 2004]

Pode-se observar que uma grande fatia do consumo de energia elétrica provém dos equipamentos de frio, contabilizando 32% do total de energia consumida. Outra grande porção provém do aquecimento ambiente (15%) enquanto que as máquinas de lavar roupa, lavar loiça e secar roupa perfazem um total de 10% [ADENE, 2004].

Outro indicador relevante, e que adiciona informação acerca dos consumos de energia elétrica em Portugal, é a taxa de penetração dos equipamentos nas habitações [ADENE, 2004]. Na figura 18, encontra-se um gráfico que indica a percentagem de habitações que possuem cada equipamento.



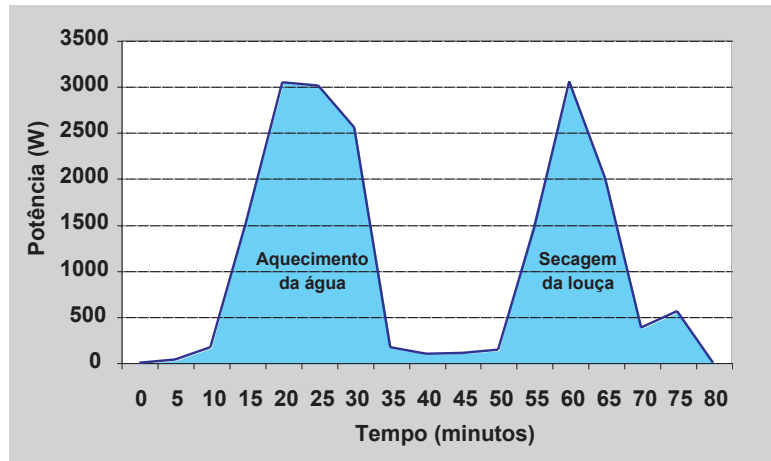
**Figura 18** Percentagem de equipamentos nas habitações portuguesas [ADENE, 2004]

É possível observar que, além dos equipamentos comuns a todas as habitações, como a iluminação, equipamentos audiovisuais ou o frigorífico, existem ainda alguns aparelhos com elevadas taxas de penetração como a máquina de lavar roupa, de lavar loiça ou o forno eléctrico.

Alguns dos aparelhos eléctricos anteriormente apresentados possuem assinaturas eléctricas características, facilitando, dessa forma, a sua desagregação. De seguida, apresentar-se-ão alguns deles.

### 3.1.1. MÁQUINA DE LAVAR LOIÇA – MLL

A máquina de lavar loiça é um eletrodoméstico de grande consumo de energia eléctrica e há cerca de 41,6% de habitações que o possuem [INE/DGEG, 2010]. O elevado consumo deve-se à resistência eléctrica destes equipamentos que permite o aquecimento de água e secagem da loiça. Uma máquina de lavar loiça típica consome por ciclo 1,4kWh de energia eléctrica, que corresponde a um consumo anual de 291kWh se forem considerados 4 ciclos de lavagem semanais. Na figura 19, está representado um ciclo típico de uma máquina de lavar loiça.

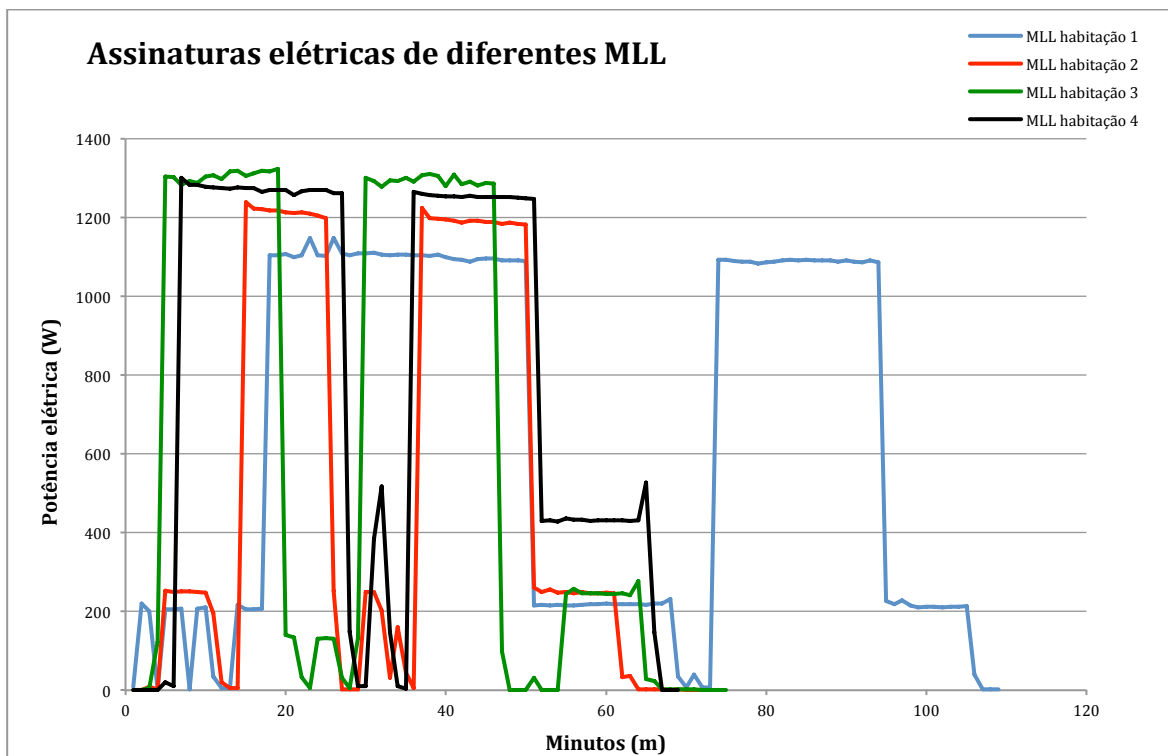


**Figura 19** Assinatura elétrica de uma máquina de lavar louça comum [ADENE, 2004]

Tipicamente, a máquina de lavar louça tem as seguintes fases de funcionamento:

- Fase de aquecimento de água – Esta fase demora entre 15 a 40 minutos, e caracteriza-se pela potência máxima da máquina;
- Fase de lavagem da louça – Nesta fase inicia-se a bombagem da água para a lavagem da louça e, por isso, caracteriza-se por um baixo consumo de energia elétrica. Pode demorar entre 10 a 30 minutos;
- Fase de secagem da louça – A máquina volta à sua potência máxima para aquecimento do ar e consequente secagem da louça. Demora entre 10 a 30 minutos.

Na figura 20, estão representadas as assinaturas elétricas de 4 máquinas de lavar louça de 4 habitações diferentes [KOLTER et al, 2011].



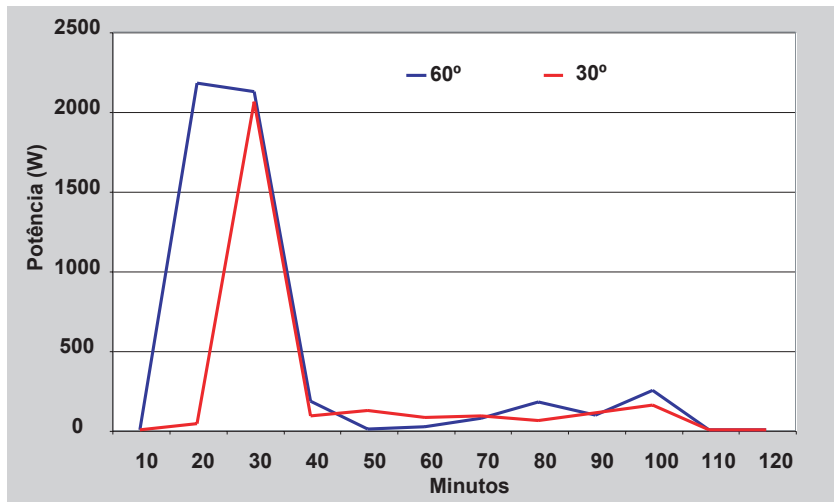
**Figura 20** Assinaturas elétricas de 4 máquinas de lavar louça diferentes [KOLTER et al, 2011]

Como se pode observar pela figura anterior, todas as assinaturas elétricas representadas possuem as três fases características de uma MLL. Contudo, diferentes máquinas e, sobretudo, diferentes modos de lavagem podem resultar em perfis de funcionamento distintos. Ao analisar a figura, deparamo-nos imediatamente com um perfil de funcionamento mais longo relativo à máquina de lavar louça da habitação 1. Provavelmente, a temperatura de lavagem foi superior às demais, o que determina períodos de aquecimento de água e secagem da louça mais longos. Em relação às assinaturas elétricas das habitações 2, 3 e 4 depreende-se que são muito semelhantes e que demoram sensivelmente menos tempo do que a habitação 1.

### 3.1.2. MÁQUINA DE LAVAR ROUPA – MLR

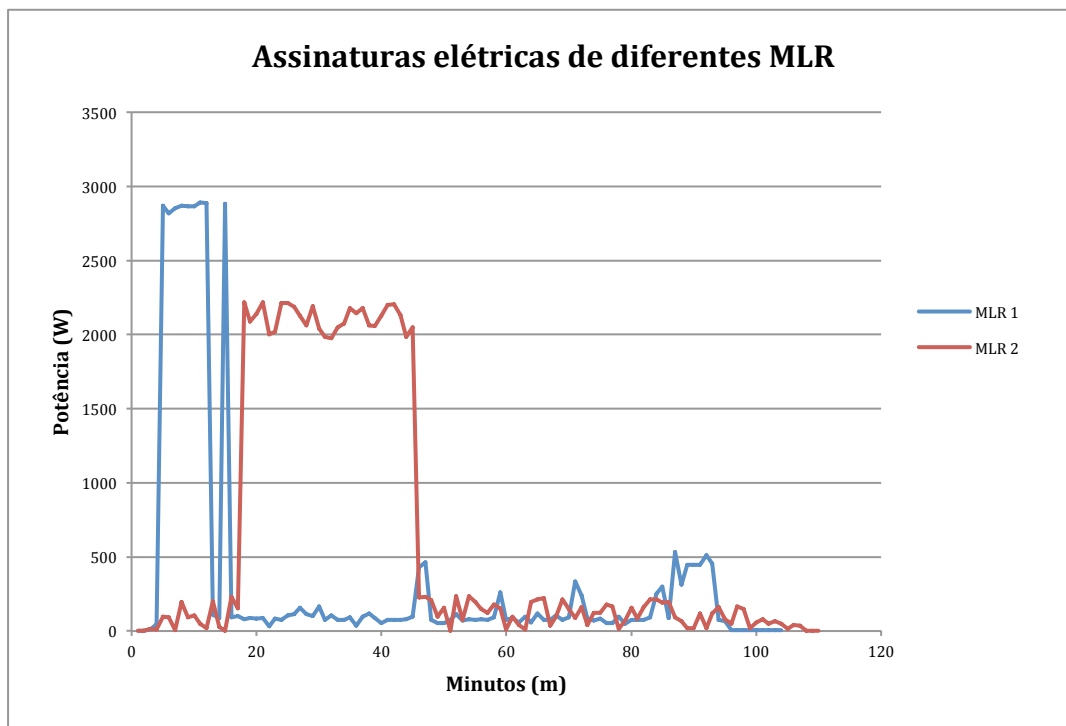
Tal como a máquina de lavar louça, a máquina de lavar roupa representa também um aparelho de elevado consumo, pelo fato de existir uma resistência elétrica para aquecimento da água utilizada na lavagem. É o eletrodoméstico de grande consumo mais utilizado nas habitações de Portugal, nomeadamente em 91% das habitações. A assinatura elétrica de uma MLR é constituída por um consumo de energia elétrica elevado durante o período de aquecimento de água. Esta fase representa aproximadamente 80 a 90% do

consumo total de energia de um ciclo de lavagem [ADENE, 2004]. De seguida, a fase de lavagem de roupa é caracterizada por um consumo de energia relativamente reduzido, onde apenas funciona o motor para centrifugar a roupa. Na figura 21, estão representados dois ciclos de funcionamento típicos de uma máquina de lavar roupa relativamente a diferentes temperaturas.



**Figura 21** Ciclo de funcionamento típico de duas máquinas de lavar roupa a temperaturas diferentes [ADENE, 2004]

Como seria de esperar, o programa de lavagem da roupa, sobretudo a temperatura de lavagem, influencia o consumo de energia elétrica durante o ciclo e, conseqüentemente, a sua assinatura elétrica. Vejamos que, uma maior temperatura de lavagem requer um tempo de aquecimento de água superior. Máquinas de lavar roupa com classes energéticas diferentes também influenciam a sua assinatura elétrica, pois uma máquina menos eficiente terá de consumir mais energia elétrica. Na figura 22, estão representadas duas MLR distintas [REINHARDT et al, 2012]. Provavelmente, terão temperaturas de lavagem diferentes (devido à diferença de tempo no período de aquecimento de água) assim como classes energéticas diferentes (potências máximas diferentes).



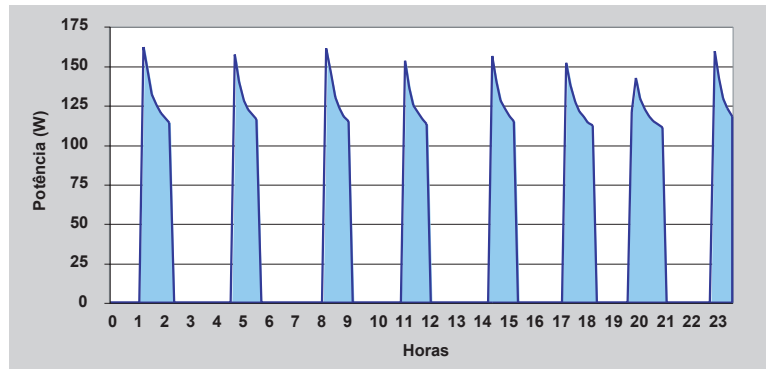
**Figura 22** Assinaturas elétricas de duas MLR distintas [REINHARDT, 2012]

A MLR 1 tem um período de aquecimento de água de cerca de 15 minutos, enquanto que a MLR 2 tem um período de aquecimento de água de cerca de 30 minutos. Contudo, a potência máxima da MLR 1 (aproximadamente 2900W) é significativamente superior à MLR 2 (aproximadamente 2200W).

No entanto, mesmo com estas variações nos tempos de aquecimento de água, assim como as variações nas potências máximas de funcionamento, a MLR possui uma assinatura elétrica característica que pode ser identificada através de algoritmos de desagregação de cargas.

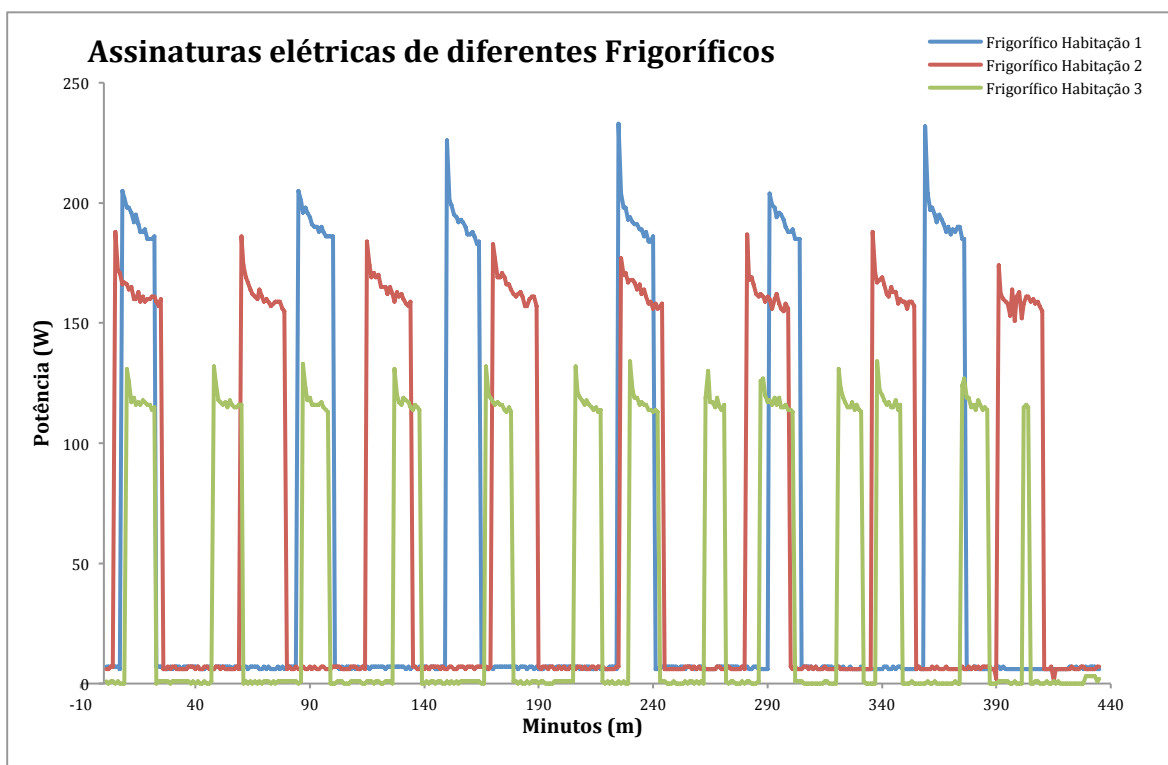
### 3.1.3. FRIGORÍFICO

O frigorífico é um equipamento que contribui significativamente para o consumo de energia elétrica nacional, devido à sua presença na totalidade das habitações portuguesas [ADENE, 2004]. Este equipamento corresponde a cerca de 32% do consumo total de energia elétrica no setor doméstico. A sua assinatura elétrica é também característica, como se pode observar pela figura 23.



**Figura 23** Assinatura elétrica típica de um refrigerador [ADENE, 2004]

O refrigerador possui um perfil cíclico, em que parte do ciclo corresponde ao funcionamento à potência nominal, uma vez que se refere ao ligar do motor elétrico que atua o compressor, e a outra parte corresponde ao desligar do motor, e, por isso, apresenta-se com um consumo reduzido. A distinção nas assinaturas elétricas entre diferentes refrigeradores é a potência nominal (que pode variar relativamente ao tamanho do refrigerador ou à classe energética) assim como a duração de cada ciclo. A duração do ciclo de um refrigerador prolonga-se durante o tempo necessário para que a temperatura pré-estabelecida no termostato seja atingida. A figura 24 apresenta as assinaturas elétricas de 3 refrigeradores diferentes [KOLTER et al, 2011] onde se pode observar que o ciclo de funcionamento é sempre semelhante ao descrito anteriormente.

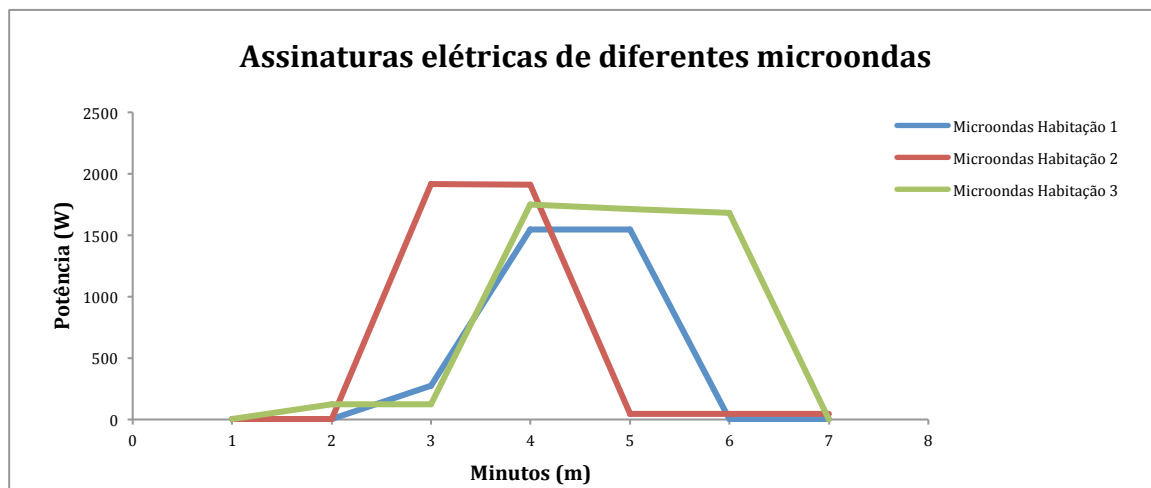


**Figura 24** Assinaturas elétricas de três diferentes frigoríficos [KOLTER et al, 2011]

Quando um ciclo se inicia é possível observar um pico de potência durante um curto espaço de tempo (período transitório), que se deve ao aumento de corrente necessário para o arranque do motor. Este período transitório é muito frequente neste tipo de eletrodomésticos. É neste tipo de aparelhos que, a monitorização de características como o pico de corrente aliadas à potência ativa e reativa apresentam algumas vantagens na desagregação de cargas. Exemplos de alguns estudos que utilizam este tipo de características foram já abordados no subcapítulo 2.1.1.3.

### 3.1.4. MICRO-ONDAS

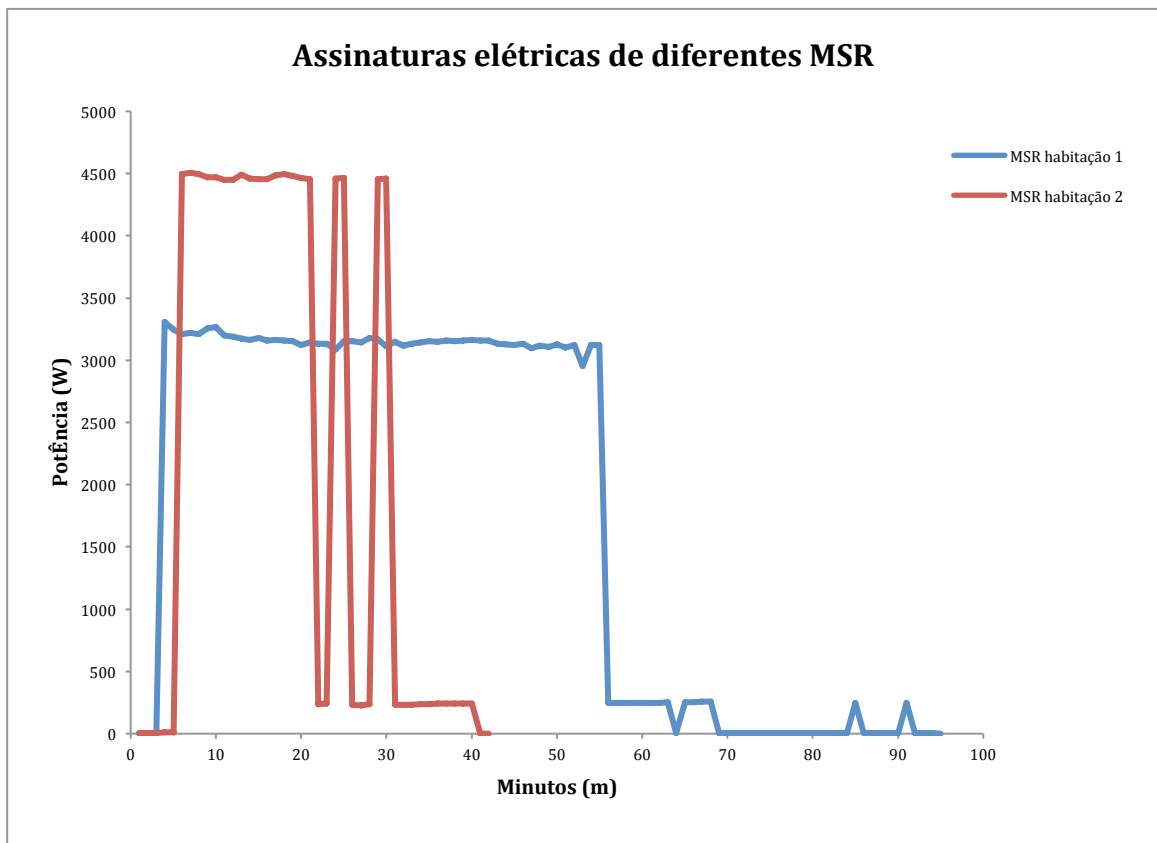
O micro-ondas é utilizado em 81,8% das habitações de Portugal, no entanto, não tem grande contribuição no consumo total de energia elétrica pois são utilizados apenas por curtos períodos de tempo. A assinatura elétrica deste aparelho não é de todo característica, apresentando um consumo linear durante o seu funcionamento. Na maioria dos casos, esse consumo pode ser escolhido pelo utilizador. Na figura 25, estão representados 3 micro-ondas de três habitações distintas [KOLTER et al, 2011] onde se pode verificar a semelhança nas assinaturas elétricas, variando a potência nominal do aparelho e ainda o seu tempo de funcionamento.



**Figura 25** Assinaturas elétricas de três micro-ondas diferentes [KOLTER et al, 2011]

### 3.1.5. MÁQUINA DE SECAR ROUPA

Apenas 13% da população Portuguesa possui uma máquina de secar roupa, no entanto, é expectável que esta percentagem continue a aumentar. Têm, tal como a máquina de lavar loiça, um elevado consumo de energia elétrica durante um período de tempo considerável, sendo essa energia consumida no processo de aquecimento do ar, através de resistência elétrica [ADENE, 2004]. A sua assinatura elétrica varia de acordo com a máquina em questão, contudo, apresentam um funcionamento à potência nominal durante a fase de aquecimento de ar, diminuindo, em seguida, o consumo. Neste contexto, apresentam-se, na figura 26, dois perfis de funcionamento de duas máquinas de secar roupa [REINHARDT et al, 2012] e [MAKONIN et al, 2013].



**Figura 26** Assinaturas elétricas de duas máquinas de secar roupa distintas [REINHARDT et al, 2012] e [MAKONIN et al, 2013]

Refira-se que o tempo de funcionamento à potência nominal de uma máquina de secar roupa depende, em grande medida, da quantidade de roupa que se pretende secar.

### 3.1.6. OUTROS EQUIPAMENTOS

A maioria dos equipamentos elétricos frequentes numa habitação são aparelhos de *ON/OFF*, em que o consumo de energia elétrica é constante durante o tempo em que estão em funcionamento. Apresentam, portanto, assinaturas elétricas semelhantes às expostas no subcapítulo 3.1.4, relativo ao micro-ondas. São aparelhos cujas assinaturas não são características e únicas, o que dificulta a sua desagregação. Como exemplos destes aparelhos temos os aparelhos audiovisuais (televisão, rádio, leitor de DVD), chaleiras, ferros de engomar ou aspiradores.

Importa referir que os perfis elétricos demonstrados ao longo deste capítulo, nomeadamente o da MLL e MLR, servirão como elemento de comparação para algoritmo de desagregação de cargas que será abordado no capítulo seguinte, visto ser um método baseado no reconhecimento de padrões através de dados prévios dos aparelhos em estudo.



# 4. ALGORITMO DE DESAGREGAÇÃO DE CONSUMOS RESIDENCIAIS

Durante o terceiro capítulo, foram demonstradas as diversas assinaturas elétricas de aparelhos comuns ao setor doméstico. Como foi explicado, cada aparelho possui um perfil de consumo característico, permitindo, em alguns casos, a sua identificação e caracterização. Desenvolveram-se, neste contexto, dois algoritmos de desagregação de aparelhos, um para a máquina de lavar roupa e outro para a máquina de lavar loiça. Estes eletrodomésticos foram escolhidos devido às suas assinaturas elétricas particulares, assim como ao fato de consumirem tanto energia elétrica como água. Deste modo, tentou-se comprovar a maior performance de desagregação de cargas que a monitorização de recursos como a água em simultâneo com a energia elétrica apresenta, quando em comparação com a monitorização apenas de energia elétrica.

Os dados utilizados na ferramenta de desagregação de cargas são alusivos a duas habitações do Reino Unido, onde se monitorizou o consumo agregado de energia elétrica, assim como o consumo individual de determinados aparelhos, entre eles a máquina de lavar roupa e a máquina de lavar loiça [KELLY et al, 2014].

Para estes dados de consumo, o algoritmo provou ter uma eficácia de deteção de máquinas de lavar loiça de 94% e 60% para a habitação 1 e 2, respetivamente. Em relação à máquina de lavar roupa, as eficácias fixaram-se em 76% na habitação 1 e 67% na habitação 2 [ver subcapítulos 4.2.5 e 4.3.5]. No subcapítulo 4.4, serão apresentadas considerações e conclusões acerca do funcionamento do algoritmo com dados relativos ao projeto piloto instalado pela empresa Energaia, onde se monitorizou o consumo de eletricidade, água e gás em 6 casas do concelho de Vila Nova de Gaia.

#### **4.1. INTRODUÇÃO AO MODELO DE DESAGREGAÇÃO DE CARGAS**

O algoritmo foi desenvolvido em ambiente MATLAB, devido ao fato de ser uma ferramenta poderosa em processamento de dados, assim como permitir a incorporação de dados em formato de folha de *excel*. Os dados de consumo dos ficheiros relativos às habitações do Reino Unido têm um período de amostragem curto, pelo que não é possível introduzir no algoritmo dados com espaço temporal muito elevado. Por isso, realizou-se um *downsampling*<sup>6</sup> para períodos de amostragem de 1 minuto. Deste modo, é possível introduzir no algoritmo ficheiros de dados com aproximadamente 45 dias de duração. A primeira coluna do ficheiro *excel* é relativa à data e hora da amostra, enquanto que a segunda coluna é referente à potência elétrica, descrita em Watt.

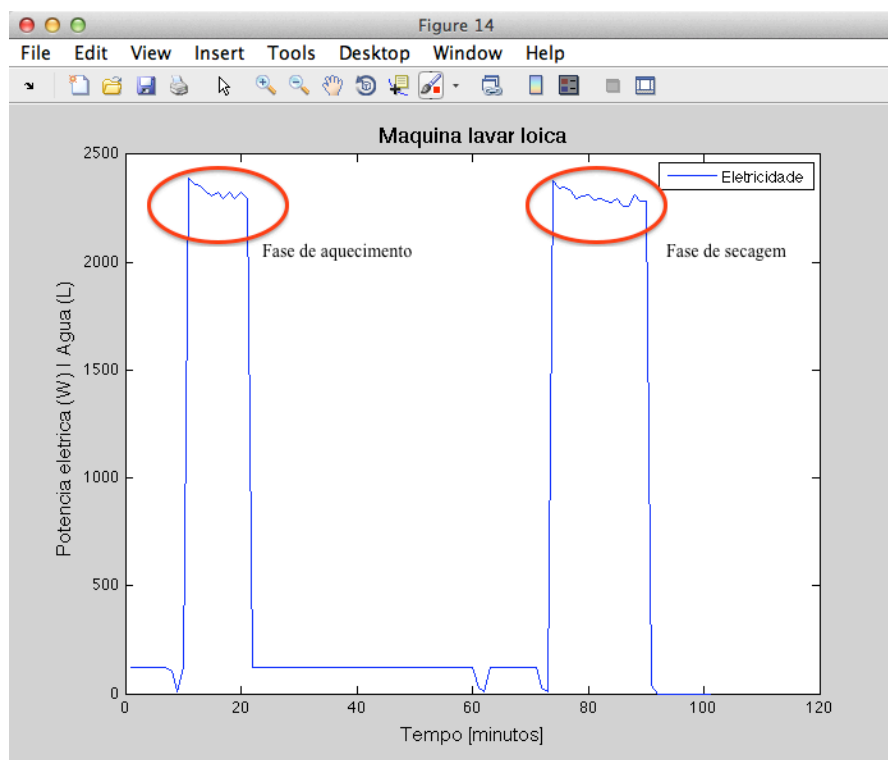
O funcionamento base dos algoritmos da máquina de lavar loiça e da máquina de lavar roupa são semelhantes e bastante simples. Em ambos os casos, o programa irá percorrer todos os dados de consumo até encontrar uma assinatura elétrica que se assemelhe com os padrões referidos no terceiro capítulo. Para tal, serão introduzidas uma série de condições que conduzirão ao perfil pretendido. No fundo tratam-se de algoritmos baseados na comparação de perfis de funcionamento elétrico, que utilizam informação já conhecida das assinaturas da MLL e MLR para reconhecimento dos padrões a serem identificados. Pode então entender-se como um método semelhante ao apresentado no subcapítulo 2.1.1.1 no modo Manual, excluindo a etapa B (Normalização dos dados) e a etapa G (Tabelar as estatísticas) que não foram necessárias no desenvolvimento destes algoritmos. Assim que o algoritmo encontre os perfis elétricos pretendidos, será exibida a hora de início de ciclo, a hora de fim de ciclo, o consumo de água (se aplicável), assim como gráficos com a variação do consumo de energia elétrica e água durante o período de funcionamento.

---

<sup>6</sup> É o processo realizado para reduzir a taxa de amostragem com o objetivo de diminuir o número de dados.

## 4.2. ALGORITMO DE DESAGREGAÇÃO DE CARGAS – MÁQUINA DE LAVAR LOIÇA

Como já mencionado no capítulo 3, a máquina de lavar loiça possui um perfil característico, em que se pode observar um elevado consumo durante cerca de 5 a 20 minutos (dependendo da máquina e do programa de lavagem utilizado) para aquecimento de água, um consumo relativamente reduzido durante a fase de lavagem da loiça e novamente um consumo elevado para a secagem da loiça. Um bom exemplo de um perfil de consumo típico de uma máquina de lavar loiça encontra-se na figura 27.



**Figura 27 Assinatura elétrica de uma MLL da habitação 2 detetada pelo algoritmo**

Para a implementação do algoritmo, foram estabelecidos alguns parâmetros que tentam refletir uma máquina de lavar loiça comum. Esses parâmetros encontram-se na tabela 4:

**Tabela 4 Parâmetros estabelecidos para MLL**

<b>Parâmetros</b>	<b>Valor</b>
Potência ativa máxima [PA]	2000W
Margem na detecção da fase aquecimento e secagem [MA]	+500W
Margem durante fase aquecimento e secagem [MA1]	+600W
Tempo de funcionamento [TF]	Entre 60 min e 150 min
Consumo de água	Entre 6 litros e 22 litros

Todos os parâmetros da tabela anterior podem, naturalmente, ser alterados para diferentes valores em função das características de cada máquina. No entanto, neste exemplo, tentou-se atribuir parâmetros comuns a qualquer máquina de lavar loiça.

#### **4.2.1. LIMITAÇÕES DO ALGORITMO**

Como qualquer método no âmbito do NILM, o aqui apresentado também reflete algumas limitações, nomeadamente:

- O algoritmo pode analisar qualquer espaço temporal, no entanto, na ocorrência de um ciclo no início ou no fim dos dados, este poderá não ser detetado;
- Se, nos 6 minutos após o início da fase de aquecimento ou secagem, um aparelho de grande consumo de potência ativa for ligado, o algoritmo não interpretará como um ciclo de funcionamento de uma máquina de lavar loiça. A explicação para esta limitação encontra-se na secção 4.2.2.

#### **4.2.2. INÍCIO DA FASE DE AQUECIMENTO**

O algoritmo inicia-se com a detecção do início da fase de aquecimento. Este compara o valor imediatamente anterior ao atual até encontrar um acréscimo de potência ativa de 2000W (PA). A este acréscimo está associado uma margem MA, que se considera devido

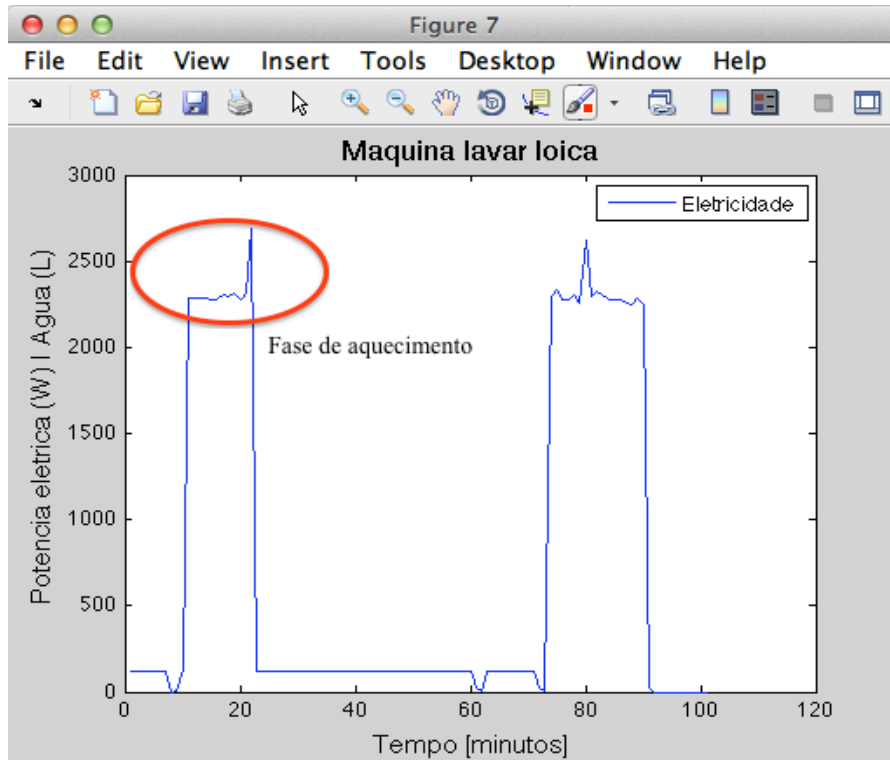
ao funcionamento de outros equipamentos, ruído na rede e erros de medição em que se inicia um novo ciclo. Assim, o algoritmo deteta, num instante genérico  $i$ , todos os aumentos compreendidos entre 1500W e 2500W, guardando a variável que diz respeito ao consumo no momento em que se detetou o acréscimo (ver Pseudo-código 1).

De seguida, se a condição anterior se verificar, o algoritmo irá fazer um teste aos próximos 6 minutos para concluir se todos se encontram a uma margem MA1 do valor anteriormente guardado. Este valor de 600W foi escolhido para o algoritmo poder encontrar perfis que não sejam totalmente perfeitos, pois o utilizador pode ligar iluminação ou algum equipamento elétrico durante o ciclo de funcionamento da máquina. Deste modo, o algoritmo é suscetível a pequenas variações no consumo, permitindo também bons resultados na deteção de aparelhos. Contudo, se um utilizador ligar um equipamento de elevada potência durante este período, o algoritmo não interpretará como um ciclo de funcionamento, remetendo deste modo para a segunda limitação do método, abordada na secção 4.2.1. Se todos estes testes se verificarem, o algoritmo guardará a hora inicial do ciclo na primeira coluna da matriz hora\_inicial (ver Pseudo-código 2).

#### **4.2.3. FINAL DA FASE DE AQUECIMENTO**

Se todas as condições da subsecção 4.2.2 se verificarem, o algoritmo irá procurar um decréscimo de consumo semelhante ao acréscimo descrito na secção anterior. Desta vez, estão a ser comparados os valores de consumo imediatamente posteriores ao consumo atual, a partir do momento do início do ciclo. Quando esta condição ocorrer, o algoritmo irá guardar na primeira coluna da matriz hora\_final a sua hora atual, indicando a hora do final da fase de aquecimento. Isto permitirá criar um perfil de uma subida de potência, uma estabilização e uma descida consequente, tudo dentro dos parâmetros arbitrados (ver Pseudo-código 3).

Até este momento, o algoritmo permite encontrar a fase de aquecimento de água de uma máquina de lavar loiça. Na figura 28, está representado um perfil exemplificativo desta mesma fase.



**Figura 28** Perfil da fase de aquecimento e água de uma MLL (círculo vermelho)

Como se pode observar pela figura anterior, o perfil encontrado não é totalmente limpo, pois pode-se observar um pico de potência tanto na fase de aquecimento de água, como na fase de secagem. Este exemplo foi escolhido propositadamente e diz respeito a um dos perfis de funcionamento da máquina de lavar loiça da habitação 1. Como abordado anteriormente, o algoritmo permite encontrar perfis suscetíveis a algum ruído ou a pequenas cargas que estejam a funcionar em simultâneo com o ciclo de funcionamento da máquina. Provavelmente, este pico de potência é referente ao acionar de um aparelho de baixo consumo (cerca de 400/500W) como iluminação ou uma pequena torradeira.

#### 4.2.4. INÍCIO E FINAL DA FASE DE SECAGEM

Neste ponto, e depois da explicação referida nas secções 4.2.2 e 4.2.3, facilmente se entenderá o funcionamento do algoritmo na deteção do início e fim da fase de secagem. Achou-se oportuno utilizar a parte do código já desenvolvida e, deste modo, guardar todos os perfis semelhantes aos explicados nas secções 4.2.2 e 4.2.3. A partir deste momento, o algoritmo irá aglomerar todos os perfis consecutivos que se encontrem à distância de TF e criar o perfil da máquina de lavar loiça. Se o tempo de funcionamento estiver dentro dos limites estabelecidos, ficará a certeza que o primeiro perfil encontrado corresponderá ao

início e fim da fase de aquecimento e o segundo perfil ao início e fim da fase de secagem. O tempo de funcionamento é calculado subtraindo a hora final do segundo perfil encontrado, pela hora inicial do primeiro perfil encontrado. Em seguida, o algoritmo subtrai novamente a hora final do quarto perfil pela hora inicial do terceiro perfil encontrado, e assim sucessivamente (ver Pseudo-código 4).

Quando todas as condições anteriores forem satisfeitas, o algoritmo irá interpretar como a ocorrência de um ciclo de funcionamento de uma máquina de lavar loiça. Nesse momento, irá fazer o *display* de um gráfico com a variação do consumo de energia elétrica durante o tempo de funcionamento.

#### 4.2.5. RESULTADOS

O algoritmo desenvolvido para a desagregação de máquinas de lavar loiça provou ter resultados positivos para as duas habitações do Reino Unido. Para a habitação 1, durante o período da amostra ocorreram 17 ciclos de lavagem, sendo que o algoritmo detetou 16 desses ciclos. Na tabela 5, pode-se observar os ciclos detetados assim como a eficácia de detecção do algoritmo para os dados de consumo da habitação 1.

**Tabela 5 Resultados alusivos à MLL da habitação 1**

<b>Ciclos ocorridos</b>	<b>Ciclos detetados</b>	<b>Ciclos não detetados</b>	<b>Falsos positivos detetados</b>	<b>Eficácia de detecção</b>
17	16	1	0	94%

Relativamente à habitação 2, durante o período da amostra, ocorreram 27 ciclos de funcionamento e o algoritmo de desagregação de máquinas de lavar loiça detetou 20 ciclos, perfazendo uma eficácia de 74% como se pode observar pela tabela 6.

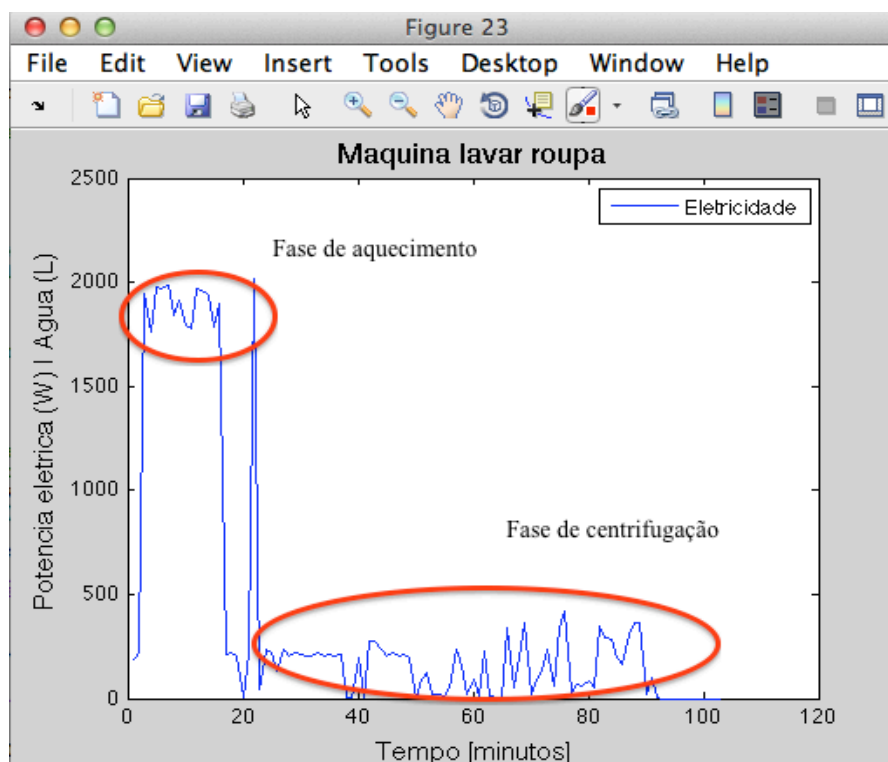
**Tabela 6 Resultados alusivos à MLL da habitação 2**

<b>Ciclos ocorridos</b>	<b>Ciclos detetados</b>	<b>Ciclos não detetados</b>	<b>Falsos positivos detetados</b>	<b>Eficácia de deteção</b>
28	20	7	0	74%

Os ciclos não detetados quer na habitação 1, quer na habitação 2, devem-se sobretudo a acréscimos de consumo de energia elétrica durante a fase de aquecimento ou secagem. Estes devem-se à segunda limitação descrita no subcapítulo 4.2.1. Esta limitação significa que se acionar um aparelho de elevado consumo nos minutos seguintes à deteção do início da fase de aquecimento ou secagem, o algoritmo não interpretará como um ciclo de lavagem de uma máquina de lavar loiça. É de salientar a não deteção de ciclos falsos positivos neste exemplo de estudo.

#### **4.3. ALGORITMO DE DESAGREGAÇÃO DE CARGAS – MÁQUINA DE LAVAR ROUPA**

O algoritmo desenvolvido para a desagregação de máquinas de lavar roupa assemelha-se ao da máquina de lavar loiça. Como descrito no capítulo 3, os perfis de máquinas de lavar roupa são também peculiares pois exibem um elevado consumo durante determinado tempo (aquecimento de água) e depois exibem um consumo reduzido que diz respeito à centrifugação. Apesar deste perfil de consumo ser frequente, diferentes máquinas e diferentes tipos de lavagem (com temperaturas diferentes sobretudo), podem levar a que o perfil elétrico seja distinto mesmo em relação à mesma máquina. Na figura 29, está representado um ciclo de funcionamento de uma MLR da habitação 1 detetada pelo algoritmo de desagregação de cargas desenvolvido.



**Figura 29 Exemplo de uma MLR da habitação 1**

Pode-se observar pela figura anterior que existe um consumo elevado durante cerca de 20 minutos, no entanto, a partir do momento que a fase de aquecimento de água termina, o consumo é bastante reduzido, sendo a potência ativa frequentemente abaixo de 500W. Os parâmetros estabelecidos para o desenvolvimento deste algoritmo encontram-se na tabela 7.

**Tabela 7 Parâmetros estabelecidos para a MLR**

Parâmetro	Valor
Potência ativa máxima [PM]	2000W
Margem na deteção da fase aquecimento [MA]	+/-500W
Margem durante fase aquecimento [MA1]	+/-600W
Tempo mínimo de aquecimento	10 min
Tempo mínimo de centrifugação	80 min

Margem da fase centrifugação [MC]	500W
Consumo de água	Entre 37 litros e 77 litros

#### 4.3.1. LIMITAÇÕES DO ALGORITMO

Mais uma vez, o algoritmo desenvolvido para a desagregação de máquinas de lavar roupa contém também algumas limitações:

- O algoritmo pode analisar qualquer espaço temporal, todavia, na ocorrência de um ciclo de funcionamento no início ou no fim dos dados, este poderá não ser detetado;
- Se, nos 10 minutos após o início da fase de aquecimento de água, um aparelho de grande consumo de potência ativa for ligado, o algoritmo não interpretará como um ciclo de funcionamento;
- Se, após o início da fase de centrifugação até ao final do ciclo de funcionamento, algum aparelho de grande consumo de potência ativa estiver em funcionamento durante um longo período, o algoritmo não interpretará como um ciclo de funcionamento;
- O algoritmo apenas permite encontrar perfis de funcionamento espaçados com um mínimo de 80 minutos.

#### 4.3.2. INÍCIO DA FASE DE AQUECIMENTO

Esta fração do algoritmo é em tudo semelhante ao da máquina de lavar loiça. O objetivo é detetar um acréscimo de consumo de potência com o valor estabelecido PA, relativamente ao valor do consumo no minuto imediatamente anterior. Mais uma vez, estabeleceu-se o parâmetro PA como 2000W, devido ao fato de ser um consumo máximo comum em várias máquinas. Deste modo, o algoritmo deteta, num instante genérico  $i$ , todos os aumentos compreendidos entre 1500W e 2500W, guardando a variável que diz respeito ao consumo no momento em que se detetou o acréscimo (ver Pseudo-código 5). As margens de deteção MA e MA1 são também iguais às estabelecidas para o algoritmo de desagregação de máquinas de lavar loiça.

Quando esta condição se verificar e o valor do consumo, no início da fase de aquecimento de água, for guardado, o programa irá realizar outro teste para excluir os perfis em que o consumo dos próximos 10 minutos não se encontrem dentro das margens pré-estabelecidas MA1. Se esta condição for satisfeita, então parte do perfil elétrico está traçado e o algoritmo guarda o valor da hora inicial do ciclo na primeira coluna da matriz *hora\_inicial* (ver Pseudo-código 6).

#### **4.3.3. FINAL DA FASE DE AQUECIMENTO**

Como referido *supra*, no subcapítulo 4.2.3, o algoritmo irá guardar na primeira coluna da matriz *hora\_final*, a hora que corresponde ao final da fase de aquecimento quando encontrar um decréscimo no consumo semelhante ao acréscimo encontrado anteriormente. Para tal, o algoritmo irá comparar o valor de consumo atual, com a posição imediatamente posterior (ver Pseudo-código 7).

#### **4.3.4. FASE DE CENTRIFUGAÇÃO**

A partir deste ponto, o algoritmo produz algumas diferenças em relação ao algoritmo desenvolvido para a máquina de lavar loiça. Após encontrada a hora referente ao final da fase de aquecimento, o programa irá calcular a média do consumo de energia nos próximos 80 minutos. Este valor foi estabelecido com base numa típica lavagem de roupa que demora entre 90 a 110 minutos. Como a fase de aquecimento de água frequentemente ocupa entre 10 a 20 minutos, afigurou-se razoável definir 80 minutos como tempo de centrifugação (ver Pseudo-código 8).

Esta média servirá para incorporar uma condição referente ao período de centrifugação da máquina. Se esta for inferior ao consumo imediatamente anterior ao início da fase de aquecimento de água mais o parâmetro MC, o algoritmo guardará o valor da hora final do ciclo de funcionamento. O valor de MC foi estabelecido de forma a permitir uma margem a equipamentos externos durante o ciclo de funcionamento. Deste modo, o algoritmo é suscetível ao funcionamento de alguns aparelhos externos durante a fase de centrifugação (ver Pseudo-código 9).

A partir desta condição, a assinatura elétrica da máquina de lavar roupa está traçada e o algoritmo irá reconhecer todos os perfis que verifiquem todas as condições designadas durante o subcapítulo 4.3.

#### 4.3.5. RESULTADOS

Os resultados do algoritmo de desagregação de máquinas de lavar roupa provaram ter menor eficácia relativamente ao algoritmo de máquinas de lavar loiça, porém, apresentaram resultados interessantes com eficácias de desagregação acima dos 65% para as duas habitações. O perfil de uma máquina de lavar roupa é um pouco menos característico que o da máquina de lavar loiça e pode ser confundido com outros equipamentos de elevado consumo de energia elétrica. Isto reflete-se no número de ciclos de falsos positivos detetados, sobretudo na habitação 2. A eficácia de deteção de máquinas da roupa na habitação 1 situou-se em, aproximadamente, 76% como se pode observar pela análise da tabela 8.

**Tabela 8 Resultados alusivos à MLR da habitação 1**

<b>Ciclos ocorridos</b>	<b>Ciclos detetados</b>	<b>Ciclos não detetados</b>	<b>Falsos positivos detetados</b>	<b>Eficácia de deteção</b>
29	22	7	1	76%

Na habitação 2, a eficácia de deteção de máquinas de lavar roupa também se mostrou positiva, contudo, o número de perfis falsos positivos foi bastante elevado, o que reflete que existem assinaturas elétricas semelhantes detetadas que, contudo, não se apresentam como ciclos de uma MLR que efetivamente ocorreram na habitação. O resumo da aplicação do algoritmo à habitação 2 está explicitado na tabela 9.

**Tabela 9 Resultados alusivos à MLR da habitação 2**

<b>Ciclos ocorridos</b>	<b>Ciclos detetados</b>	<b>Ciclos não detetados</b>	<b>Falsos positivos detetados</b>	<b>Eficácia de deteção</b>
18	12	4	41	67%

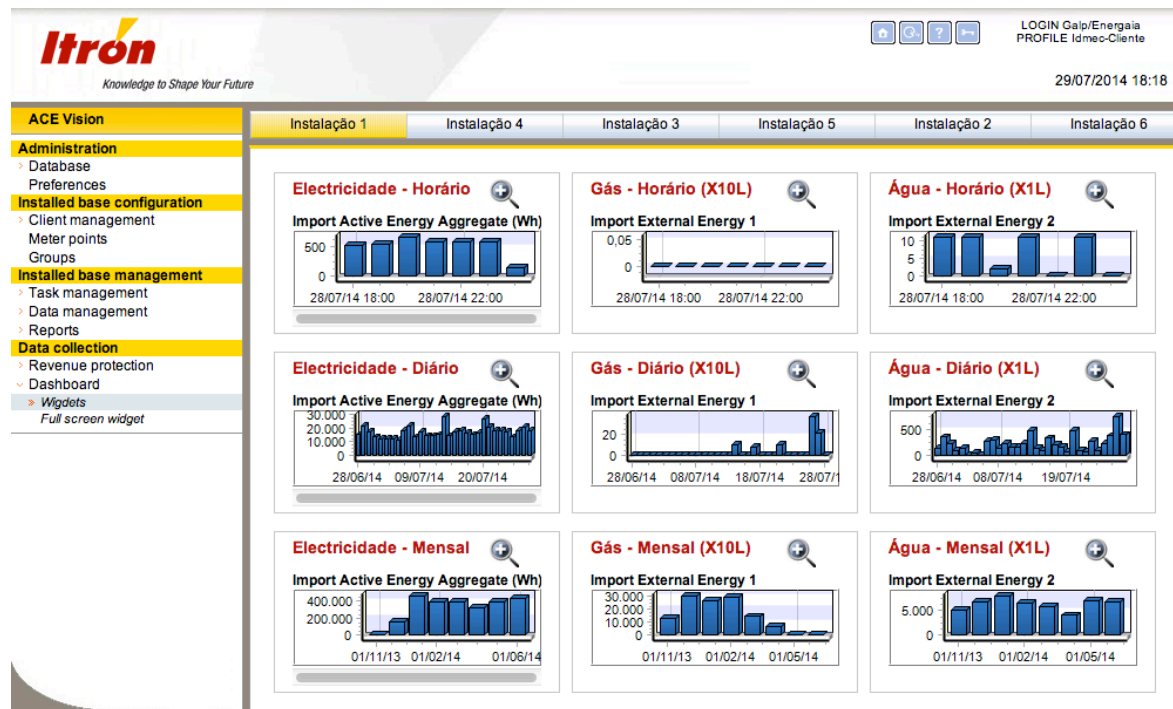
#### 4.4. INCORPORAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA NO MODELO DE DESAGREGAÇÃO DE CARGAS

Como abordado no começo do capítulo quarto, os algoritmos desenvolvidos para a desagregação de máquinas de lavar loiça e máquinas de lavar roupa foram também testados com dados referentes ao projeto piloto da empresa Energaia. Estes podem ser extraídos também em ficheiros de formato *excel*, onde a primeira coluna se refere à data e hora da amostra, a segunda coluna à potência ativa em W, a coluna 4 para o consumo de gás enquanto a coluna 5 está reservada para o consumo de água. A terceira coluna é referente à exportação de energia elétrica, que não se aplica a nenhuma das habitações. Os dados relativos ao consumo de gás não foram utilizados para os algoritmos, pois não se aplicam a nenhum destes eletrodomésticos. Estes ficheiros estão disponíveis através da plataforma desenvolvida pela ITRON, empresa especializada em soluções de gestão, monitorização e medição dos vários recursos energéticos e água. A plataforma permite várias funcionalidades como, por exemplo, a monitorização dos consumos em gráficos de barras mensais, semanais ou diários, assim como a monitorização minuto a minuto do consumo de energia elétrica, água e gás. A estas funcionalidades acresce ainda a possibilidade de aceder a vários dados instantâneos que vão desde a potência ativa e reativa, passando pelo ângulo de fase, até ao fator de potência, entre outros. O aspeto do ambiente inicial da plataforma apresenta-se na figura 30.

The screenshot displays the initial environment of the ITRON platform. At the top left is the Itron logo with the tagline "Knowledge to Shape Your Future". On the top right, there are navigation icons and user information: "LOGIN Gale/Energaia" and "PROFILE Idmec-Cliente", along with the date and time "29/07/2014 18:14". A vertical navigation menu on the left lists the following categories: ACE Vision, Administration (Database, Preferences), Installed base configuration (Client management, Meter points, Groups), Installed base management (Task management, Data management, Reports), and Data collection (Revenue protection, Dashboard). The main content area, titled "ACE-VISION : Welcome", features four columns of menu items: Administration (Database, Production sources, Preferences), Installed base configuration (Client management, Meter points, Groups), Installed base management (Task management, Publishing, Data management, Reports), and Data collection (Revenue protection, Monitoring, Tampering, Installed base status, Dashboard, Widgets, Full screen widget).

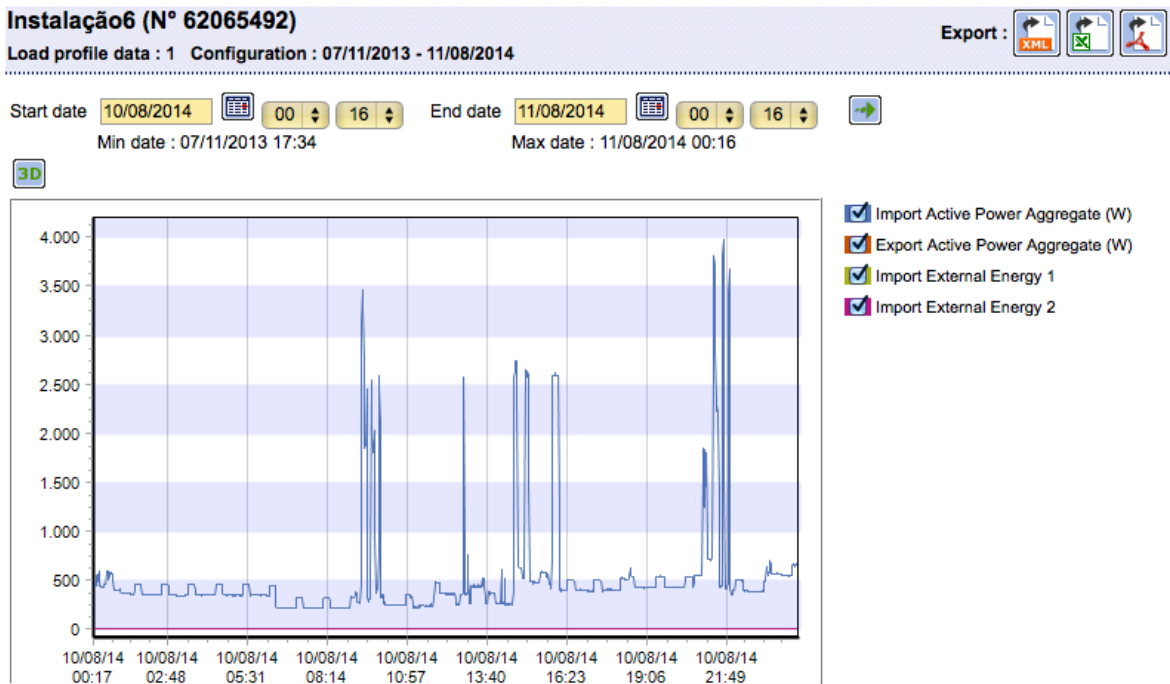
Figura 30 Ambiente inicial da plataforma ITRON

Para se observarem os consumos diários, semanais ou mensais da habitação o utilizador terá de seleccionar, no menu esquerdo, a função *Dashboard*. O aspeto da aplicação será semelhante ao apresentado na figura 31. Neste caso, apresentam-se as 6 habitações constituintes do estudo.



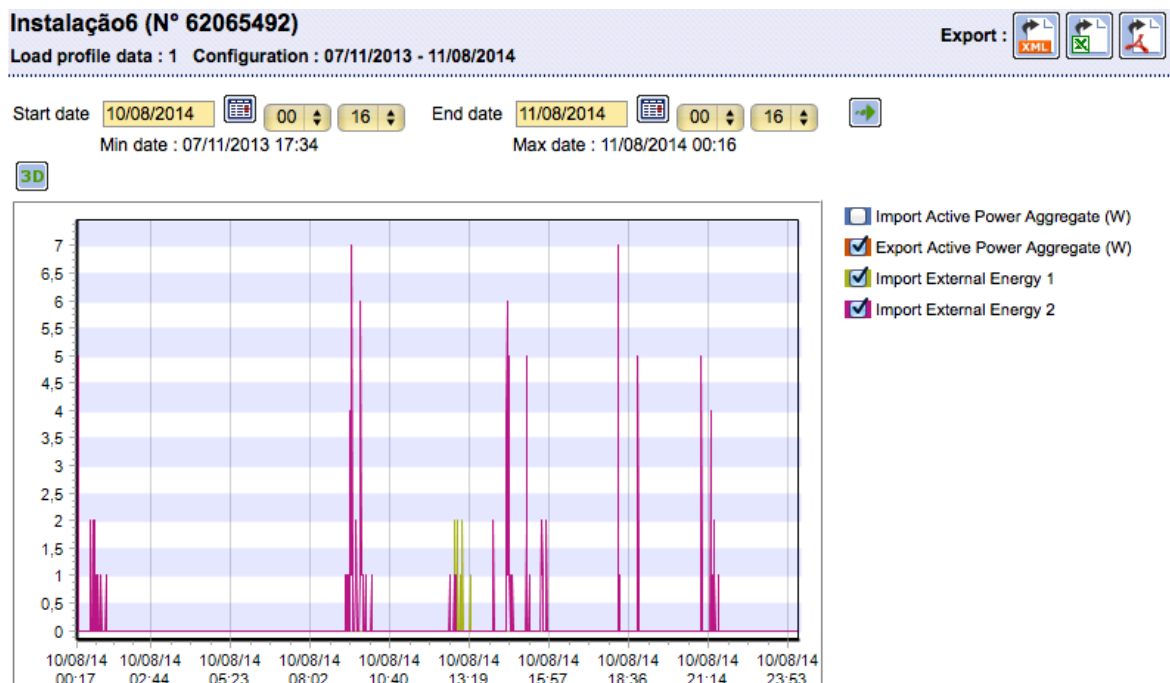
**Figura 31 Visualização em gráficos de barras da habitação 1**

É de notar que todas as janelas podem ser expandidas para uma melhor visualização, assim como para descarregar os dados em ficheiros do formato *excel* ou PDF. Porém, a funcionalidade mais interessante da plataforma é a que permite visualizar os consumos de eletricidade, água e gás com períodos de tempo de 1 minuto. Deste modo, é possível observar de forma mais pormenorizada o consumo total da habitação e, porventura, identificar visualmente algum aparelho. A figura 32 apresenta, a título exemplificativo, o consumo de energia elétrica da habitação 6 durante o dia 10 de Agosto de 2014.



**Figura 32** Consumo de energia elétrica da habitação 6 durante o dia 10 de Agosto de 2014

De igual modo, apresenta-se na figura 33, o consumo da mesma habitação durante o mesmo período de tempo, embora no que diz respeito a gás e água.



**Figura 33** Consumo de água e gás da habitação 6 durante o dia 10 de Agosto de 2014

O gráfico de cor rosa indica o consumo de água (litros), enquanto que, por sua vez, o gráfico de cor verde corresponde ao consumo de gás natural (dm<sup>3</sup>).

#### **4.4.1. ALGORITMO DA MÁQUINA DE LAVAR LOIÇA**

Depois de explicado o algoritmo tendo em conta apenas o consumo de eletricidade, resta referir que o mesmo é em tudo igual ao explicado durante o subcapítulo 4.2, porém, permite também calcular a soma do consumo de água durante o ciclo de funcionamento da máquina de lavar loiça e testar se se encontra dentro dos parâmetros pré-estabelecidos. Para a máquina de lavar loiça, estabeleceu-se a margem de consumo de água durante uma lavagem de 6 a 22 litros, valores considerados comuns para qualquer máquina [ECOCASA] (ver Pseudo-código 10).

À monitorização de água em conjunto com a eletricidade acresce uma nova condição que pode ser útil no aumento de eficácia na desagregação de aparelhos que utilizem simultaneamente água e energia elétrica. No caso do algoritmo proposto neste trabalho, se um utilizador, porventura, utilizar algum aparelho nas condições apresentadas entre os subcapítulos 4.2.2 e 4.2.4, o algoritmo irá compreender como sendo uma máquina de lavar loiça. Por exemplo, se for ligado um secador de cabelo (potência ativa aproximadamente 2000W) durante pelo menos 6 minutos e, passados cerca de 30 minutos, uma torradeira (potência ativa aproximadamente 2000W), tal poderá induzir em erro o algoritmo. No entanto, com a monitorização de água em conjunto com eletricidade, esse perfil poderia não ser encontrado se não ocorresse simultaneamente com o consumo de energia elétrica, um consumo de água. Serão expostos alguns casos de estudo relativamente à mais valia da monitorização de água no subcapítulo 4.5.

#### **4.4.2. ALGORITMO DA MÁQUINA DE LAVAR ROUPA**

O algoritmo de desagregação da máquina de lavar roupa com a incorporação da monitorização do consumo de água, é também semelhante ao algoritmo descrito durante o subcapítulo 4.3. Posteriormente à deteção da assinatura elétrica do aparelho, é adicionada uma condição relativa à quantidade de água consumida durante esse ciclo de funcionamento. Quando o perfil elétrico se assemelhar ao descrito no subcapítulo 4.3, assim como o consumo de água durante esse período se situar entre os parâmetros estabelecidos da tabela 7, o algoritmo interpretará como um ciclo de funcionamento de

uma máquina de lavar roupa. Para este electrodoméstico, estabeleceu-se como margem de consumo de água 37 a 77 litros [ECOCASA] (ver Pseudo-código 11).

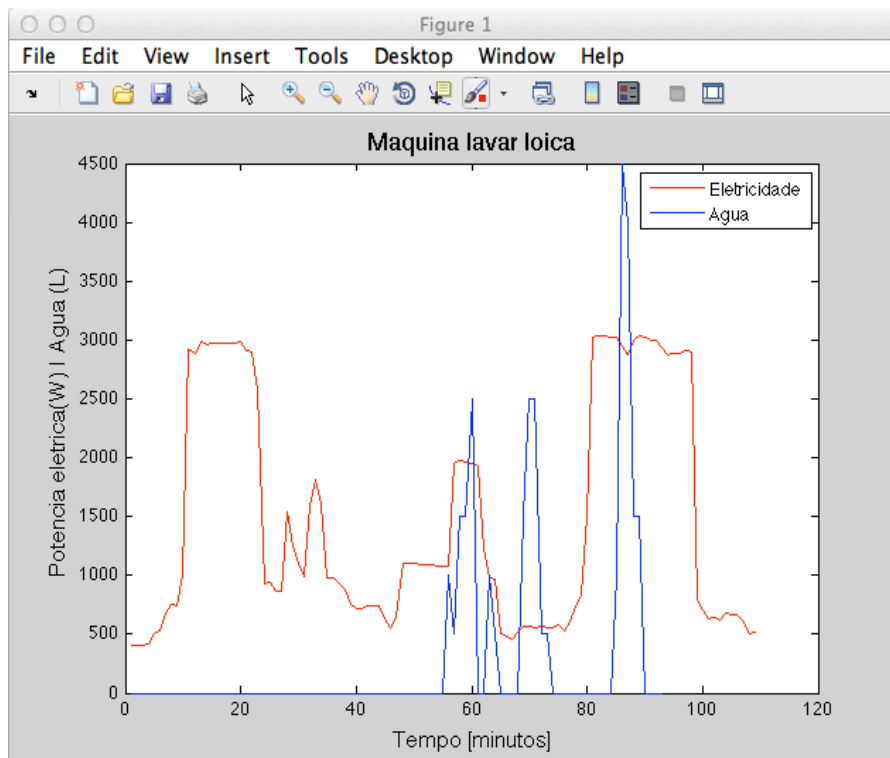
Na secção seguinte, 4.5, serão abordados alguns casos particulares, onde através da monitorização do consumo de água é possível eliminar alguns perfis que, potencialmente seriam considerados corretos.

#### **4.5. VANTAGENS DA MONITORIZAÇÃO DE ÁGUA**

Como abordado em subcapítulos anteriores, esperava-se comprovar, através da monitorização de outros vetores energéticos a adicionar à energia elétrica, uma melhor performance na desagregação de cargas. Neste subcapítulo, serão apresentados alguns casos de estudo em que o algoritmo poderia melhorar a sua eficácia de deteção de aparelhos através da análise do consumo de água. Estes resultados são mais qualitativos do que quantitativos, sendo impossível apresentar resultados concretos à semelhança dos subcapítulos 4.2.5 e 4.3.5. Isto deve-se à impossibilidade de obter dados individuais dos aparelhos das habitações do projeto implementado pela empresa Energaia, nomeadamente no que diz respeito à máquina de lavar roupa e máquina de lavar loiça. Sem informação acerca da hora inicial e final dos ciclos de funcionamento destes aparelhos, torna-se impossível comprovar a eficácia do método.

##### **4.5.1. CASO DE ESTUDO MÁQUINA DE LAVAR LOIÇA**

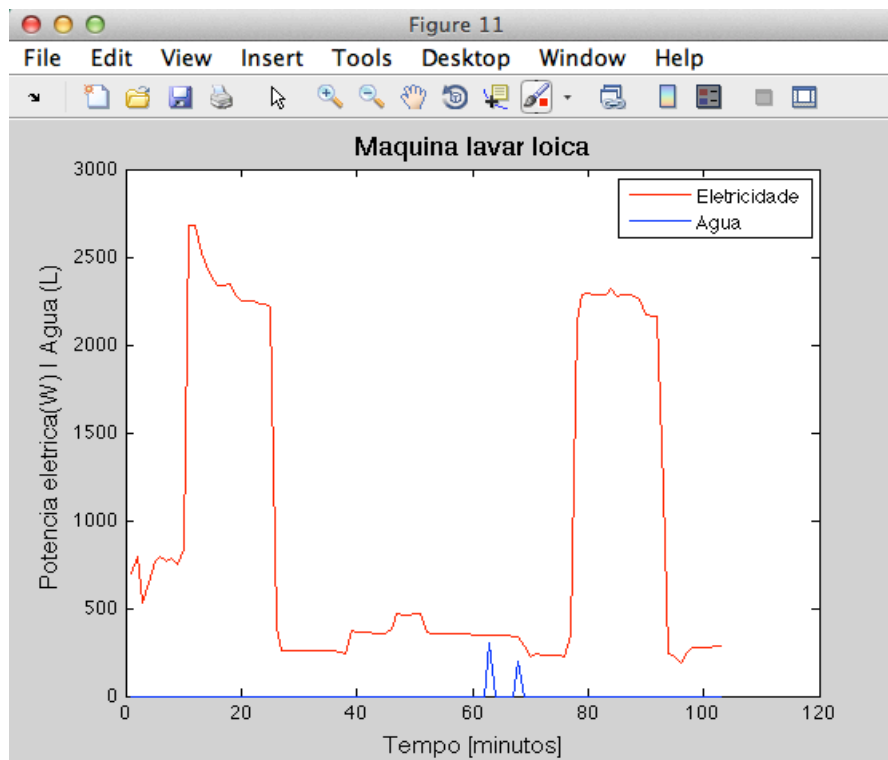
Realizaram-se então, neste âmbito, alguns casos de estudo dos quais dois deles serão apresentados em seguida. Para tal, aplicou-se o algoritmo sem a condição 4.4.1, que corresponde à condição da quantidade de água consumida em cada ciclo detetado. O primeiro exemplo é relativo a todo o mês de Janeiro da habitação número 4. O programa apresentou 13 perfis que potencialmente seriam máquinas de lavar loiça. No entanto, observando o consumo de água de todos os ciclos, pode-se confirmar que, provavelmente, cinco deles não apresentariam as condições, ao nível do consumo de água, para serem considerados adequados. Todos estes cinco casos apresentam consumos de água, durante os ciclos detetados, superiores a 32 litros. A figura 34 representa um desses exemplos, onde o consumo de água do ciclo de lavagem foi de 57 litros, o que não corresponde aos parâmetros estabelecidos anteriormente para o consumo de água de uma máquina de lavar loiça. O valor do consumo de água, no gráfico, foi multiplicado pelo fator 500 para uma melhor visualização.



**Figura 34** Exemplo de um perfil falso positivo de uma MLL devido a um consumo de água elevado

O segundo exemplo é alusivo aos dados do mês de Julho da habitação número 5, onde o algoritmo de desagregação de cargas encontrou 14 potenciais perfis de MLL. Analisando novamente o consumo de água de cada perfil detetado, depreende-se que 6 deles possuem consumos de água superiores ao limite de 22 litros e um deles um consumo de água inferior ao limite de 6 litros.

Como exemplo, apresenta-se o gráfico da figura 35, onde consumo de água durante o ciclo de funcionamento foi de apenas 5 litros, como tal, pode concluir-se que se trata de um ciclo de falso positivo. O valor do consumo de água, no gráfico, foi multiplicado pelo fator 100 para uma melhor visualização.

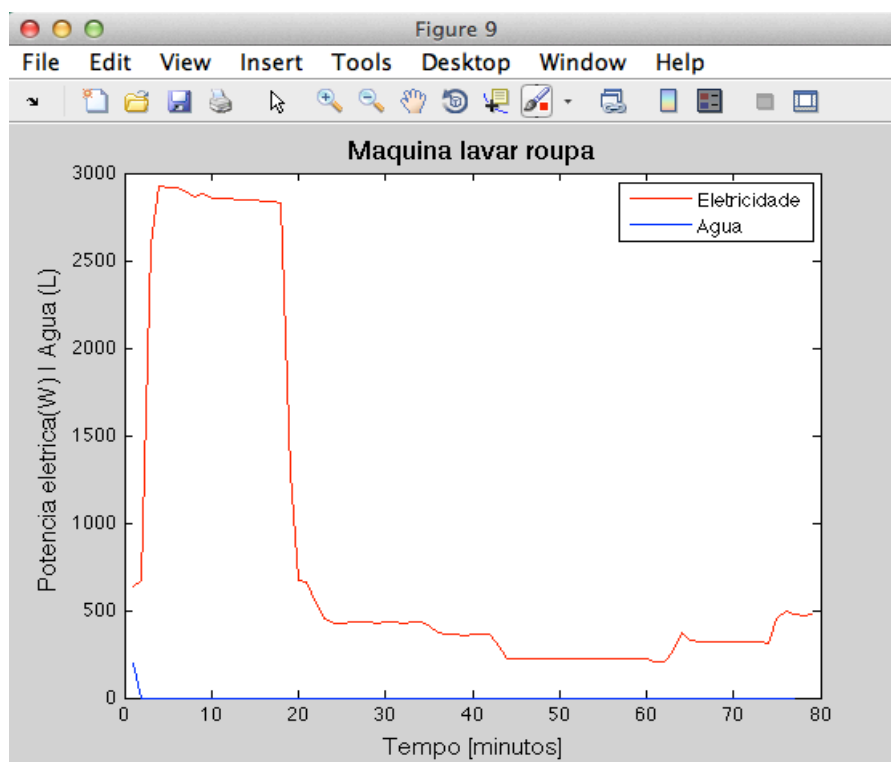


**Figura 35** Exemplo de um perfil falso positivo de uma MLL devido a um consumo de água reduzido

Estes exemplos, através da análise do consumo de água, poderiam ser evitados e, deste modo, o algoritmo apresentaria uma melhor eficácia de desagregação. Claro está que, esta análise corresponde a consumos agregados e, no caso da figura 34, onde o consumo de água apresenta 57 litros, poderia indicar também um duche, ou uma outra qualquer utilização de água. No entanto, fica a certeza de que, pelo menos no caso de estudo da figura 35, dificilmente este perfil se enquadraria num perfil de consumo de uma máquina de lavar loiça devido ao reduzido consumo de água, que foi de 5 litros apenas.

#### 4.5.2. CASO DE ESTUDO MÁQUINA DE LAVAR ROUPA

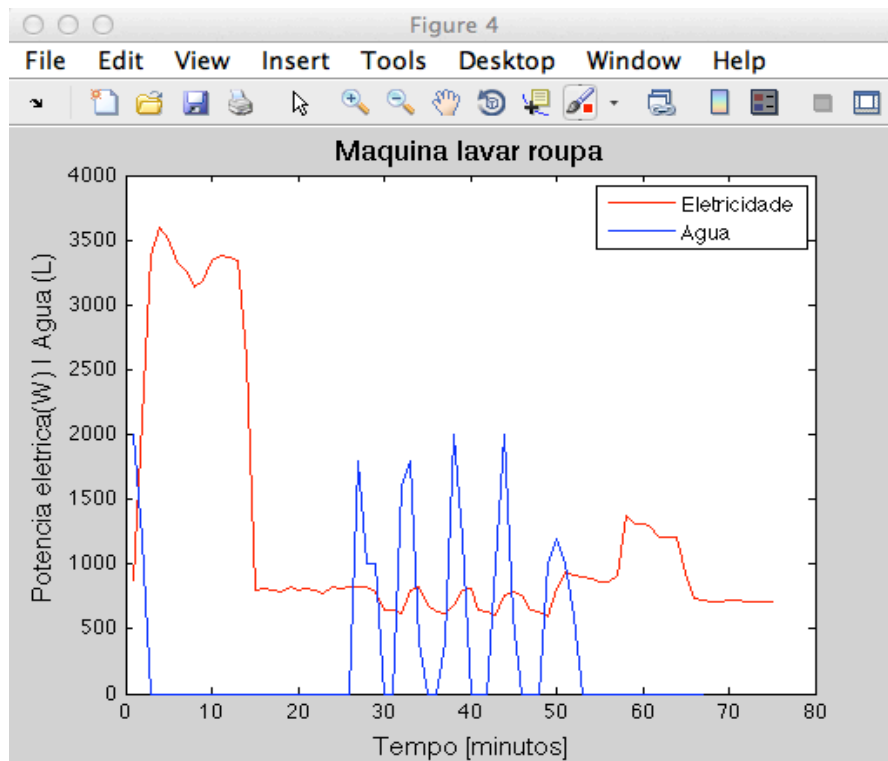
Nas máquinas de lavar roupa, a situação repete-se e, como tal, a monitorização de água torna-se uma mais valia na deteção deste tipo de eletrodoméstico. Testou-se o algoritmo sem a condição 4.4.2 na habitação 1 durante o mês de Maio. O algoritmo detetou trinta máquinas de lavar roupa, sendo que, doze delas, muito provavelmente não correspondem a ciclos positivos. Tal deve-se à análise que se pode realizar ao consumo de água durante os ciclos detetados. Em todos os 12 casos, o consumo de água foi igual ou inferior a 1 litro, pelo que se pode afirmar que se tratam de ciclos falsos positivos. Na figura 36 representa-se um desses exemplos, em que o consumo de água foi de 1 litro.



**Figura 36** Exemplo de um perfil falso positivo de uma MLR devido ao não consumo de água

Neste primeiro caso, o consumo de água total durante a lavagem foi de 1 litro, o que dificilmente se traduz numa máquina de lavar roupa. O perfil elétrico é muito semelhante aos abordados durante o capítulo 4, pois tem um consumo elevado durante cerca de 20 minutos, diminuindo significativamente o consumo durante a fase de centrifugação. Contudo, sendo esta uma assinatura elétrica semelhante às de uma máquina de lavar roupa, através do consumo total de água, facilmente se conclui que se trataria de um falso perfil.

No caso da figura 37, apresenta-se um exemplo retirado dos dados relativos ao mês de Abril da habitação 1, onde o consumo de água foi de 93 litros, o que corresponde também a um consumo fora dos parâmetros estabelecidos em 4.4.2. Refira-se somente que a linha azul alusiva à variação do consumo de água ao longo do ciclo foi multiplicada pelo fator 200 de forma a ser visível no gráfico.



**Figura 37 Exemplo de um perfil falso positivo de uma MLR devido ao consumo elevado de água**

Em suma, poderá concluir-se que a monitorização da água provou ser uma mais valia no âmbito do NILM. Embora sem resultados quantitativos no que respeita à eficácia do algoritmo aplicado aos dados do projeto piloto da empresa Energaia, provou-se que, com estes 4 exemplos, aliando a monitorização de água à energia elétrica, a eficácia de desagregação de aparelhos pode aumentar, sem que seja necessário alterar o método já desenvolvido para o consumo elétrico.



## 5. PROPOSTAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética é, hoje em dia, um tema bastante atual e que diz respeito à otimização que se pode fazer do consumo de energia. Durante o processo de transformação de energia, grande parte desta é, em regra, desperdiçada ou não devidamente aproveitada pelos consumidores, o que resulta em desperdícios energéticos. A eficiência energética compreende medidas e estratégias de forma a reduzir o desperdício de energia durante o processo de transformação assim como na forma em que esta é utilizada pelo consumidor.

Uma ferramenta que poderá conduzir a eventuais medidas de eficiência energética é a monitorização de consumos, nomeadamente a monitorização não intrusiva, já abordada em capítulos anteriores. Durante este capítulo, apresentar-se-ão algumas medidas de eficiência energética direcionadas para o setor doméstico, assim como as suas principais características. Nomeadamente, abordar-se-ão medidas como os sistemas solares térmicos, os sistemas de redução de caudal, a caldeira de condensação e a iluminação eficiente.

Por último, realizou-se um estudo com os dados de consumo do projeto piloto da empresa Energaia, onde se implementaram algumas medidas de eficiência energética e ainda os seus investimentos, períodos de retorno e poupanças de energia. Esta análise teve como

base as respostas dos moradores das habitações em estudo a determinadas questões relativas aos equipamentos que possuem.

## **5.1. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS**

Portugal é, juntamente com os restantes países do sul da Europa, um país com elevado índice de radiação solar. No que concerne à disponibilidade, Portugal tem uma radiação solar média, numa superfície com orientação fixa ótima de, aproximadamente, 1700kWh/m<sup>2</sup> no Norte, e 2000kWh/m<sup>2</sup> no Sul [RUI CASTRO, 2011]. Estes níveis apresentam um potencial de rentabilidade elevado, pelo que, investir em equipamentos que utilizem energia solar se afigura como sendo uma boa solução. Existem, essencialmente, dois tipos de sistemas que aproveitam a energia solar. Enquanto que o sistema solar fotovoltaico produz energia elétrica diretamente da radiação solar, o sistema solar térmico converte a radiação incidida no painel em energia térmica, de forma a aquecer um fluido de transferência de calor.

### **5.1.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO**

Os sistemas solares térmicos são, atualmente, utilizados para diversas funcionalidades, sendo elas, nomeadamente, o aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS), o aquecimento de piscinas, o aquecimento/arrefecimento ambiente ou mesmo para a produção de água a elevadas temperaturas destinada ao uso industrial.

Esta tecnologia apresenta um princípio de funcionamento muito simples. A radiação solar incide sobre a área disponível do coletor solar, transformando-se em energia térmica mediante aquecimento do fluido de transferência de calor que nele circula. Este fluido pode ser a água juntamente com alguns aditivos, podendo, todavia, ser outro líquido, ou mesmo o ar. Além do coletor solar a instalar, está também associado um depósito de água. Este está, habitualmente, equipado com uma resistência elétrica para aquecimento de água aquando da falta de radiação solar, ou por um sistema auxiliar como um esquentador ou caldeira.

Existem diferentes tipos de sistemas solares térmicos podendo ser subdivididos em sistemas passivos e sistemas ativos. De seguida abordar-se-ão ambos, explicitando ainda as suas principais vantagens e desvantagens.

### 5.1.2. SISTEMAS PASSIVOS E SISTEMAS ATIVOS

Num sistema passivo ou de circulação natural, a circulação do fluido de transferência de calor ocorre devido à convecção natural, enquanto que, um sistema ativo ou de circulação forçada, distingue-se do anterior por possuir uma bomba para circular o fluido de transferência de calor.

Os sistemas solares térmicos passivos podem classificar-se em sistemas de termossifão ou sistemas de depósito integrado. Na figura 38 apresenta-se uma imagem ilustrativa de ambos. Os sistemas de termossifão apresentam, essencialmente, três vantagens. Desde logo, não dependem de bombas circuladoras ou controladores, são mais fiáveis e têm um período de vida superior aos sistemas de circulação forçada. Relativamente às suas desvantagens poderá sinalizar-se o seu elevado atravancamento, fato este que os pode tornar menos atrativos. Os sistemas passivos de depósito integrado apresentam as mesmas vantagens que os anteriores por não utilizarem qualquer bomba ou controlador, assim como uma vantagem estética, uma vez que não apresentam o reservatório separado do coletor solar. Contudo, esta característica revela-se também uma desvantagem pois não permite que o reservatório seja totalmente isolado, uma vez que numa das faces não poderá existir isolamento térmico para permitir a absorção da radiação solar. Deste modo, as perdas térmicas são elevadas, principalmente no período noturno ou com temperaturas ambiente baixas [KALOGIROU, 2009].



**Figura 38 Sistema solar térmico de termossifão (figura a) e sistema solar térmico com depósito integrado (figura b)**

No que diz respeito aos sistemas solares ativos, estes apresentam a vantagem de possuírem perdas térmicas inferiores devido ao reservatório estar no interior e, consequentemente, não estar exposto à temperatura ambiente. A principal desvantagem deste tipo de equipamentos é o seu elevado preço comparativamente com os sistemas passivos, devido à necessidade de incorporação da bomba circuladora. Também têm a desvantagem de necessitarem de mais espaço para a colocação do reservatório e outros equipamentos pois, normalmente, serão colocados no interior da habitação [KALOGIROU, 2009].

## **5.2. CALDEIRA DE CONDENSAÇÃO**

As caldeiras de condensação divergem das caldeiras tradicionais por aproveitarem o calor proveniente dos gases de combustão expelidos. Numa caldeira tradicional, uma parte significativa do calor, gerado pela queima do combustível, é lançada para a atmosfera durante a combustão. Esta quantidade de calor é denominada calor latente de vaporização e representa, aproximadamente, 11% da energia produzida pela combustão. A mais valia das caldeiras de condensação é que grande parte deste calor desperdiçado é aproveitado para pré-aquecer a água fria, antes de ser aquecida no permutador principal [COMINI et al, 2008]. Deste modo, aproveita-se o calor residual dos gases, aumentando a eficiência da caldeira em cerca de 10%, sendo ainda possível rendimentos sobre o PCI<sup>7</sup> superiores a 100% devido à capacidade deste tipo de caldeiras em aproveitar o calor latente de condensação [EDP, 2013]. A figura 39 mostra o princípio de funcionamento entre uma caldeira tradicional e uma caldeira de condensação.

---

<sup>7</sup> Poder calorífico interno.



Figura 39 Comparação do princípio de funcionamento de uma caldeira convencional (figura da esquerda) e uma caldeira de condensação (figura da direita)

### 5.3. SISTEMAS DE REDUÇÃO DE CAUDAL

Além da energia elétrica, o consumidor doméstico poderá procurar poupanças ao nível do consumo de água. Com um investimento relativamente reduzido é possível, através da instalação de redutores de caudal, reduzir significativamente o consumo de água numa habitação. Estes sistemas podem ser instalados em vários equipamentos como torneiras, chuveiros, autoclismos, entre outros. A mais valia destes equipamentos é a redução do consumo de água sem reduzir a qualidade da utilização. Os redutores de caudal têm a particularidade de misturar ar com água, o que permite continuar com caudais elevados, porém, reduzem significativamente os consumos de água. A figura 40 apresenta um exemplo de um redutor de caudal adequado para torneiras.



Figura 40 Redutor de caudal para torneiras

## **5.4. ILUMINAÇÃO**

Como referido no capítulo terceiro, a iluminação corresponde a 12% do consumo total de energia elétrica nas habitações portuguesas. Esta afigura-se como uma secção do consumo doméstico onde é possível reduzir entre 15 a 20% na fatura de energia elétrica, sem qualquer redução na qualidade da iluminação [INE/DGEG, 2010]. A maior redução passaria por aproveitar ao máximo a iluminação natural e apenas utilizar a iluminação artificial de acordo com necessidades e fins específicos. Contudo, a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes ou LED também auxiliará a reduzir o consumo de energia elétrica. As principais fontes de luz existentes no mercado são as lâmpadas incandescentes, as lâmpadas de halogéneo, as lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas LED.

A tecnologia das lâmpadas incandescentes remonta ao século passado, daí que apresente custos reduzidos, todavia, apresentam-se como sendo pouco eficientes devido à maioria da energia consumida ser dissipada em calor. Apresentam também um tempo de vida útil reduzido, de aproximadamente 1000 horas. A vantagem das lâmpadas de halogéneo é o fato de apresentarem um tempo de vida útil superior às lâmpadas incandescentes, que poderá ir até 3000 horas. Relativamente às lâmpadas fluorescentes, estas apresentam-se, hoje em dia, como soluções rentáveis devido ao fato de consumirem até menos 80% de energia elétrica que as lâmpadas incandescentes, assim como apresentarem um tempo de vida útil substancialmente superior (entre 8000 e 10000 horas). A única desvantagem é o seu preço de aquisição, que se apresenta superior às lâmpadas tradicionais. Por fim, as lâmpadas LED ostentam como única desvantagem o seu preço elevado, contudo, por serem dispositivos de potência reduzida, tipicamente entre 0,1W e 3W, apresentam poupanças de energia que podem chegar a 90% comparativamente com lâmpadas incandescentes. Ainda, o seu tempo de vida útil é de aproximadamente 30000 horas [ADENE, 2012].

## **5.5. RESUMO**

Em conformidade com a explicação das tecnologias de eficiência energética abordadas nos subcapítulos anteriores, a tabela 10 apresenta um resumo com o potencial de poupança que cada medida oferece.

**Tabela 10** Potencial de poupança das diferentes tecnologias de eficiência energética

<b>Medida de eficiência energética</b>	<b>Potencial de poupança</b>
Sistema solar térmico	70%
Sistemas de redutores de caudal	70-90%
Caldeira de condensação	20%
Iluminação fluorescente	80%
Iluminação LED	90%

## **5.6. AVALIAÇÃO DE PROPOSTAS**

Até este ponto, foram apresentadas, ao longo do capítulo quinto, algumas propostas de eficiência energética para o setor residencial. Como abordado anteriormente, um dos objetivos deste trabalho foi no sentido de determinar e quantificar eventuais oportunidades de eficiência energética para as 6 habitações pertencentes ao projeto piloto da empresa Energaia. Com essa finalidade, foi realizado um simples questionário dirigido às habitações já referidas, que se encontra disponível na secção B-1 dos anexos.

Assim, através das respostas concedidas, é possível aferir um maior conhecimento da habitação em estudo, que não se conseguiria obter apenas monitorizando os consumos agregados de energia elétrica, água e gás. No seguinte subcapítulo, apresentar-se-á, a título de exemplo, a caracterização de uma das habitações em estudo, assim como possíveis propostas de eficiência energética a implementar.

### **5.6.1. HABITAÇÃO 2**

De acordo com as respostas ao questionário, a caracterização desta habitação encontra-se estabelecida na tabela 11.

**Tabela 11 Caracterização da habitação segundo resposta ao questionário**

<b>Respostas ao questionário</b>	
Número de pessoas na habitação:	3
Tarifa bi-horária:	Sim
Sistema de climatização ambiente:	Caldeira a gás
Sistema de AQS:	Caldeira a gás
Tipo de fogão:	Gás natural
Sistema de redução de caudal para torneiras:	Não
Autoclismo com volume de descarga reduzido:	Sim
Chuveiros de caudal reduzido:	Não

Através da análise das respostas obtidas, as propostas de eficiência energética mais adequadas seriam os redutores de caudal para torneiras e chuveiro, o painel solar térmico e a caldeira de condensação. Apesar de não se encontrar incluído no questionário nenhuma pergunta relativamente ao tipo de iluminação presente nas habitações, será também abordado um pequeno estudo sobre o potencial de poupança de lâmpadas mais eficientes como os LED ou lâmpadas fluorescentes em detrimento de lâmpadas tradicionais incandescentes.

Os consumos agregados de energia elétrica, água e gás, por mês, referentes ao período de monitorização realizado na habitação 2, encontram-se na tabela 12.

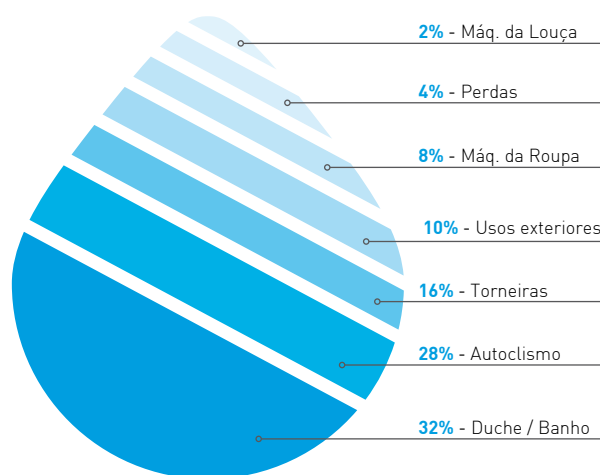
**Tabela 12 Consumos de energia elétrica, gás e água relativos à habitação 2**

	<b>Energia elétrica (kWh)</b>	<b>Gás (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Água (Litros/m<sup>3</sup>)</b>
Outubro 2013	341,884	4,165	10675/10,675
Novembro 2013	376,137	11,866	10605/10,605
Dezembro 2013	399,223	18,502	9368/9,368
Janeiro 2014	392,237	17,602	10038/10,038
Fevereiro 2014	372,508	19,343	9842/9,842
Março 2014	387,816	15,752	10751/10,751
Abril 2014	343,644	7,768	10924/10,924
Maió 2014	323,192	5,049	10729/10,729
<b>Média</b>	<b>367,080</b>	<b>12,505</b>	<b>10367/10,367</b>

O consumo de referência utilizado nos cálculos dos próximos subcapítulos será a média aritmética dos 8 meses onde se monitorizou os consumos desta habitação. O período de amostragem para os consumos da tabela 12 foi de 1 minuto.

#### **5.6.1.1. Implementação de redutores de caudal**

Segundo [VIEIRA et al, 2002], o consumo de água de uma habitação é distribuída de acordo com a figura 41.



**Figura 41 Distribuição do consumo de água doméstico (Fonte: Comunidade Intermunicipal da região e Aveiro – Baixo Vouga)**

Considerou-se, neste sentido, a instalação de redutores de caudal para torneiras e chuveiros. As características e respetivos preços encontram-se na tabela 13.

**Tabela 13 Características dos redutores de caudal**

Medidas	Modelo	Poupança	Investimento unitário	Investimento total
1- Redutor de caudal para torneira	Hhippo HP-185S	87%	6,95€	20,85€ <sup>8</sup>
2- Redutor de caudal para chuveiro	Wurth REF <sup>a</sup> 888 951 110	73%	6,99€	13,98€ <sup>9</sup>

A tabela 14 apresenta um resumo da proposta acima enunciada, onde se engloba o investimento, a poupança de água e o período de retorno de investimento (*payback*). O custo de água está contemplado com as tarifas de água, saneamento e resíduos sólidos urbanos para o município de Vila Nova de Gaia, disponíveis no Anexo B-2.

<sup>8</sup> Considerou-se 3 torneiras (2 para WC e 1 para cozinha).

<sup>9</sup> Considerou-se 2 chuveiros (2 WC).

**Tabela 14 Resultados da proposta de investimento**

	<b>Consumo de água (m<sup>3</sup>/mês)</b>	<b>Poupança (m<sup>3</sup>/mês)</b>	<b>Poupança total anual (€)</b>	<b>Payback (anos)</b>	<b>Payback (meses)</b>
Torneira <sup>10</sup>	1,658	1,443	80,29€	0,258	3,09
Chuveiro	3,317	2,421	135,54€	0,103	1,24

Depois da análise realizada para a implementação de redutores de caudal na habitação 2, sem dúvida que este investimento se apresenta rentável e de retorno rápido. O investimento inicial, quer do redutor de caudal de torneira, quer do chuveiro é reduzido, apresentando, deste modo, um período de retorno de investimento de aproximadamente 3 meses para as torneiras e um pouco superior a 1 mês para o chuveiro.

#### **5.6.1.2. Implementação de soluções para iluminação**

A iluminação, como já abordado no início deste capítulo, é um fator importante no consumo de energia elétrica das habitações. Um estudo interessante e elucidativo que se pode realizar é a comparação entre uma lâmpada tradicional e uma lâmpada fluorescente ou LED, de modo a verificar a poupança de energia alcançada, assim como a poupança no custo total associado à utilização das lâmpadas. Na tabela 15, apresenta-se a comparação entre uma lâmpada incandescente de 60W e uma lâmpada fluorescente equivalente de 13W, para o mesmo período de tempo.

**Tabela 15 Comparação de uma lâmpada incandescente com uma lâmpada fluorescente**

	<b>Incandescente 60W<sup>11</sup></b>	<b>Fluorescente compacta 13W=60W<sup>12</sup></b>
Preço:	1€	6,49€
Preço kWh:	0,15€	0,15€

<sup>10</sup> A forma de cálculo para os valores da tabela encontra-se no Anexo B-2. O caso do redutor de caudal para chuveiro é semelhante.

<sup>11</sup> Disponível em [Castroelectronica].

<sup>12</sup> Disponível em [Phillips, 2014] – pág 447.

Vida útil:	1000h	8000h
Consumo:	$(8000h*60W)$ 480kW	$(8000h*13W)$ 104kW
Custo energia elétrica:	$(480kW*0,15€/kWh)$ 73,34€	$(480kW*0,15€/kWh)$ 15,89€
Custo lâmpadas p/ igual período:	$(8*1)$ 8€	$(1*6,49)$ 6,49€
Custo total:	81,34€	22,38€
Poupança:	58,96€	

Como se pode observar, uma lâmpada fluorescente, apesar de significativamente mais dispendiosa do que uma lâmpada incandescente, tem um tempo de vida útil superior em cerca de 8 vezes, o que contribui, além do menor consumo de energia elétrica, para uma poupança de, aproximadamente, 59€ para o mesmo período de tempo.

De seguida, apresenta-se, na tabela 16, a comparação entre uma lâmpada incandescente de 60W e uma lâmpada LED equivalente de 10W, nos mesmos modos que a tabela anterior.

**Tabela 16 Comparação de uma lâmpada incandescente com uma lâmpada LED**

	<b>Incandescente 60W</b>	<b>LED 10W=60W<sup>13</sup></b>
Preço:	1€	20,78€
Preço kWh:	0,15€	0,15€
Vida útil:	1000h	15000h
Consumo:	$(15000h*60W)$ 900kW	$(15000h*10W)$ 150kW
Custo energia elétrica:	$(900kW*0,15€/kWh)$ 137,52€	$(150kW*0,15€/kWh)$ 22,92€
Custo lâmpadas p/ igual período:	$(15*1)$ 15€	$(20,78*1)$ 20,78€

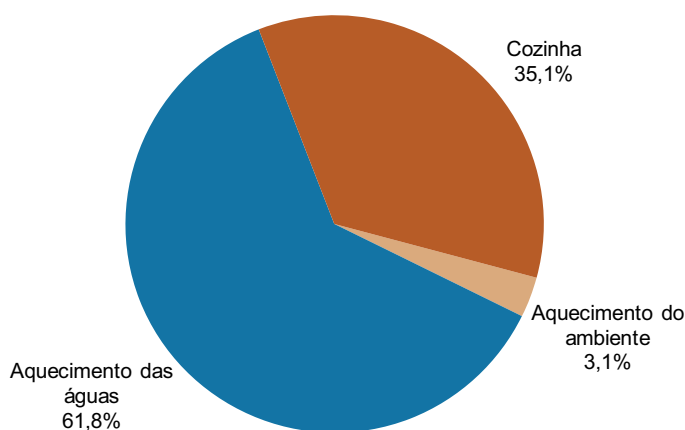
<sup>13</sup> Disponível em [Phillips, 2014] – pág 338.

período:		
Custo total:	152,52€	43,7€
Poupança:	108,82€	

Como se pode observar através da tabela 16, a troca de lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED, resulta numa poupança superior relativamente às lâmpadas fluorescentes do exemplo anterior, contribuindo com uma poupança de, aproximadamente, 109€ para o mesmo período de tempo útil. O LED permite um tempo de vida útil superior à lâmpada fluorescente, contudo, como é uma solução relativamente nova, ainda apresenta custos iniciais de investimento um pouco elevados. No futuro, com a consolidação de mercado para as lâmpadas LED, o seu preço poderá diminuir significativamente, tornando-se, dessa forma, a melhor solução em termos energéticos e económicos para a iluminação no setor residencial.

#### 5.6.1.3. Implementação do painel solar térmico

No caso da habitação em estudo, o aquecimento de AQS realiza-se através de caldeira a gás natural que, segundo [INE/DGEG, 2010] representa 61,8% do consumo total deste recurso, como se pode observar pela figura 42.



**Figura 42 Distribuição do consumo de gás natural por tipo de utilização [INE/DGEG, 2010]**

Apesar do painel solar térmico poder desempenhar outras funções como aquecimento de piscinas ou aquecimento ambiente é, sobretudo, para aquecimento de AQS que este se

destina. Supondo que é este o cenário da habitação 2, a tabela 17 apresenta as características de uma instalação de um painel solar térmico de termossifão. Neste caso, pode-se aproveitar a caldeira a gás já existente na habitação para equipamento de suporte ao coletor solar. É de referir que é comum os painéis solares apresentarem poupanças na ordem de 70%.

**Tabela 17 Proposta de investimento do painel solar térmico**

<b>Solução: Painel solar termossifão com apoio de caldeira a gás</b>	
Poupança:	70%
Investimento <sup>14</sup> :	1720€
Consumo gás para AQS (m <sup>3</sup> /mês):	7,728
Consumo de gás para AQS (kWh/mês) <sup>15</sup> :	88,561
Custo energia (€/kWh) <sup>16</sup> :	0,0794
Custo anual:	84,381€
Poupança:	59,067€
<i>Payback</i> :	29,12 anos

O fator mais relevante num investimento é, sem dúvida, o período de retorno de investimento. No caso da habitação 2, a avaliar pelo período de aproximadamente 29 anos, esta solução não seria de todo aconselhável. A instalação de painéis solares apresenta menor *payback period* quando o utilizador possui equipamentos elétricos para aquecimento de águas quentes sanitárias como, por exemplo, termoacumuladores. No entanto, o preço do impacto ambiental nulo deste tipo de soluções não é contemplado na análise de investimento, embora possa ser um bom motivo para aquisição de equipamentos que utilizem fontes de energia renováveis.

<sup>14</sup> A solução incorpora um kit termossifão (painel + estrutura + depósito + acessórios de instalação) e módulo solar, preços sem iva incluído e não considerando o preço de instalação do equipamento (ver Anexo B-3).

<sup>15</sup> Fórmula de cálculo efetuado na secção Anexos B-4.

<sup>16</sup> Preço relativo ao escalão 1 do serviço EDPGás Universal para clientes finais em baixa pressão (Ver anexo B-5).

#### 5.6.1.4. Implementação de caldeira de condensação

Outra medida de eficiência energética que se poderia adotar na habitação 2 é a troca da atual caldeira convencional a gás, por uma caldeira de condensação. Deste modo, apresenta-se de seguida, na tabela 18, o estudo económico para a referida proposta de eficiência energética.

Tabela 18 Proposta de investimento de uma caldeira de condensação

<b>Solução: Troca de caldeira de condensação por caldeira convencional para a habitação 2</b>	
Custo Caldeira convencional:	1200€
Custo Caldeira condensação:	1750€
Diferença no investimento:	550€
Poupança:	20%
Consumo de gás para AQS (m <sup>3</sup> /mês):	7,728
Consumo de gás para AQS (kWh/mês) <sup>17</sup> :	88,561
Poupança de energia mensal (kWh):	17,712
Poupança de custos mensal <sup>18</sup> :	1,406€
Poupança anual:	16,87€
<i>Payback</i> :	32 anos

O investimento numa caldeira de condensação em áreas geográficas com reduzidas necessidades de aquecimento, onde se inclui o município de Vila Nova de Gaia, não é de todo rentável devido ao elevado período de retorno de investimento. Apesar de energeticamente mais eficiente, a caldeira de condensação tem um custo significativamente

<sup>17</sup> Fórmula de cálculo efetuado na secção Anexos B-4.

<sup>18</sup> Poupança de custos baseada na poupança de energia pela tarifa aplicada da tabela disponível nos Anexos B-5.

mais elevado que uma caldeira convencional, pelo que as possíveis poupanças não se refletem na diferença de preço.

### 5.7. ANÁLISE *STANDBY* E *BASELOAD*

Nesta secção abordar-se-ão os temas do consumo *standby* e do consumo *baseload*. Apesar de não se enquadrarem como tecnologias de eficiência energética, este tipo de análise poderá ser importante para aferir alguns comportamentos por parte dos utilizadores e, deste modo, contribuir para a redução do consumo de energia. Nomeadamente o consumo *baseload* poderá ser importante para definir estratégias de eficiência energética ao permitir identificar potenciais aparelhos desnecessários ou mesmo detetar algum tipo de avaria existente.

O consumo *standby* pode caracterizar-se pelo consumo de electricidade que os equipamentos elétricos apresentam quando desligados ou quando não estão a realizar as suas funções principais. Embora normalmente sejam consumos relativamente reduzidos, um conjunto de aparelhos com consumo *standby* em simultâneo poderá representar cerca de 4 a 10% do consumo de uma habitação [HAMER et al, 2008].

No estudo acima citado, testaram-se mais de 850 produtos para aferir o valor médio de consumo *standby* de diferentes aparelhos. Na tabela 19 apresentam-se, a título de exemplo, os resultados do mesmo.

**Tabela 19** Consumo *standby* de alguns aparelhos no ano de 2007, adaptado de [Hamer et al, 2008]

<b>Tipo de aparelho</b>	<b>Modelos testados</b>	<b>Média (W)</b>	<b>Valor máximo (W)</b>	<b>Valor mínimo (W)</b>
Ar-condicionado	3	1.19	1.26	1.12
Telefone fixo	2	1.96	2.30	1.62
Despertador	32	2.44	9.53	0.21
Máquina lavar roupa	11	1.71	4.77	0.00
Máquina café	35	0.94	2.44	0.00
Monitor de PC	78	0.74	5.65	0.15
Colunas	20	4.24	16.07	0.92
Moldura digital	9	1.28	4.74	0.13
Leitor de DVD	71	4.00	18.53	0.00
Leitor de música <i>stereo</i>	39	6.67	27.63	0.18
Computador portátil	59	1.25	12.76	0.39
Micro-ondas	38	2.08	4.02	0.88
Impressora multi-	42	8.41	25.70	0.14

funções				
Impressora	29	1.24	2.83	0.42
Box TV	7	22.73	41.13	6.55
Televisão	198	2.01	47.80	0.01
Torradeira	44	0.30	2.39	0.00
Leitor de vídeo VCR	2	4.49	6.67	2.30
Consola de videojogos	5	1.63	2.45	0.64

Pela análise da tabela anterior, facilmente se depreende que com apenas alguns destes equipamentos é possível obter um consumo *standby* significativo. Senão vejamos: se um utilizador colocar em *standby* a box TV, a impressora multi-funções, o leitor de música, DVD e VCR e ainda um despertador, a potência elétrica será de aproximadamente 50W. Através de um pequeno cálculo é possível aferir o custo anual deste tipo de comportamento, isto é, se estes equipamentos estiverem em *standby* durante todo o ano. Portanto:

$$50W * 24h * 365dias = 438000Wh = 438 kWh \quad (3)$$

$$Se 1kWh = 0,15€ \quad (4)$$

$$438kWh * 0,15€ = 65,70€ \quad (5)$$

Este pequeno exercício vai de encontro ao estudo desenvolvido por Michael Camilleri [CAMILLERI et al, 2006], onde os autores estudaram o consumo *standby* da Nova Zelândia. Este estudo concluiu que este consumo seria de aproximadamente 57W, o que em custos se traduz em cerca de 60\$ por ano em cada habitação. Deste modo, o consumo *standby* afigura-se como sendo uma componente relevante no consumo anual de uma habitação. Equipamentos de carga contínua não foram incluídos neste cálculo por estarem inseridos no consumo de *baseload*, que será abordado em seguida.

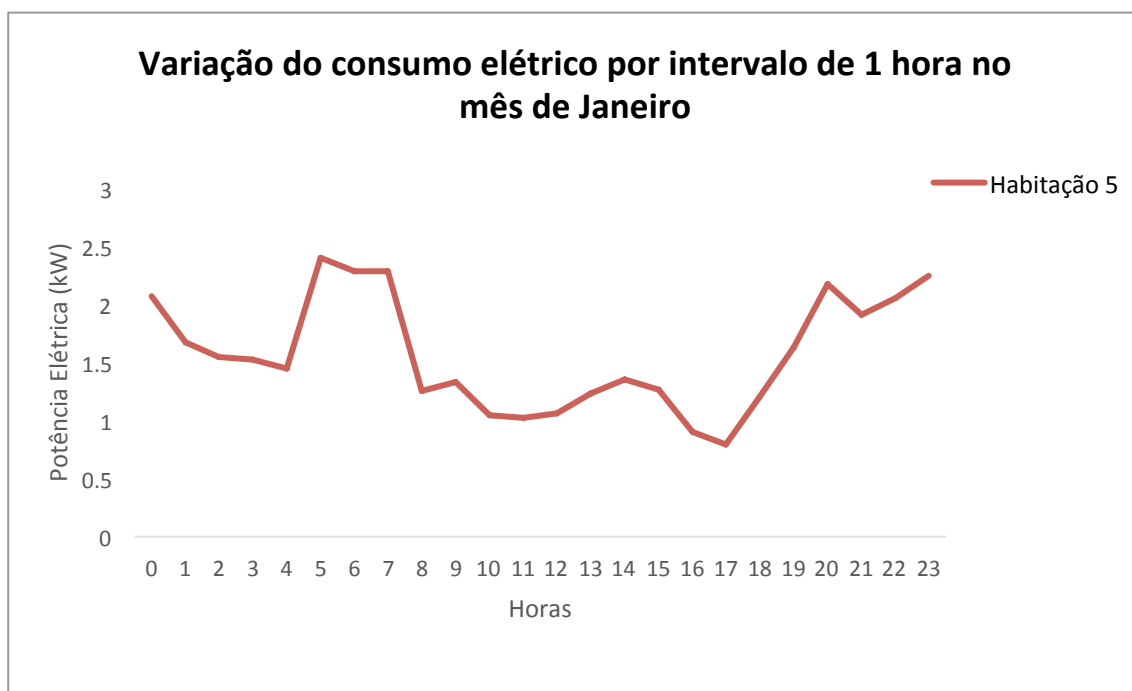
O consumo de *baseload* foi definido por [CAMILLERI et al, 2006] como sendo:

“ (...) o menor consumo elétrico típico de uma habitação, quando tudo o que está habitualmente desligado, se encontra efetivamente desligado “.

Deste modo, o consumo *baseload* é constituído maioritariamente pelo consumo *standby*, todavia, alberga também o consumo de aparelhos de *on-off* (frigorífico ou termoacumulador) quando estes se encontram em ciclo-*off* e ainda cargas contínuas como aquecedores de toalhas, relógios e outros aparelhos sempre ligados.

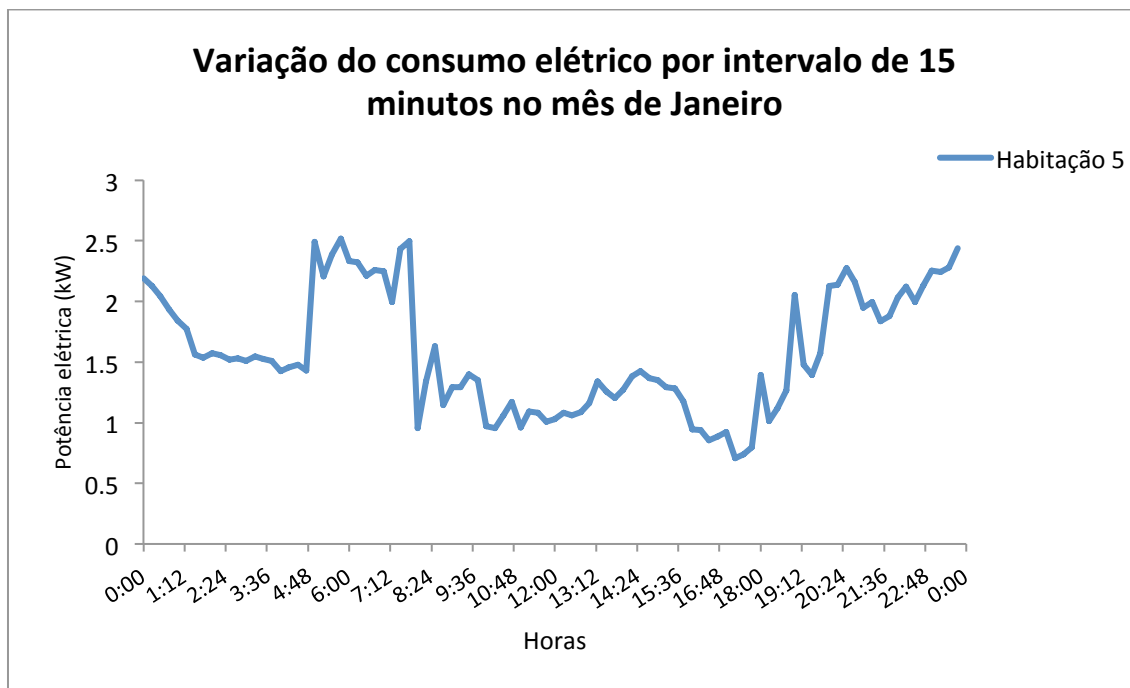
### 5.7.1. METODOLOGIA

Realizou-se um estudo das 6 habitações de Vila Nova de Gaia relativamente ao consumo de *baseload*, que consistiu em encontrar o menor consumo de energia elétrica para períodos de 1 hora e para períodos de 15 minutos. Deste modo, tentou encontrar-se o período do dia mais propício à ocorrência do período de *baseload* e, ao mesmo tempo, tentar encontrar uma relação entre o consumo de *baseload* e a respetiva época do ano. No primeiro caso, para períodos de 1 hora, calculou-se a média do consumo de energia elétrica de cada habitação para cada hora, encontrando assim a hora de menor consumo para cada mês do estudo. Analogamente ao caso anterior, calculou-se também a média do consumo de energia elétrica de cada habitação para períodos de 15 minutos. Como exemplo, as figuras 43 e 44 apresentam a variação do consumo de energia elétrica da habitação 5 no mês de Janeiro, para, respetivamente, cada hora e cada período de 15 minutos.



**Figura 43** Variação do consumo de energia elétrica por intervalos de 1 hora durante o mês de Janeiro

Como se pode verificar, a hora na qual ocorreu o consumo de *baseload* foi entre as 16h00 e as 17h00, que correspondeu a um consumo de aproximadamente 0,85kWh. No gráfico seguinte, o período onde ocorreu o consumo *baseload* foi entre as 17h30 e 17h45, com um consumo de aproximadamente 0,72kWh.



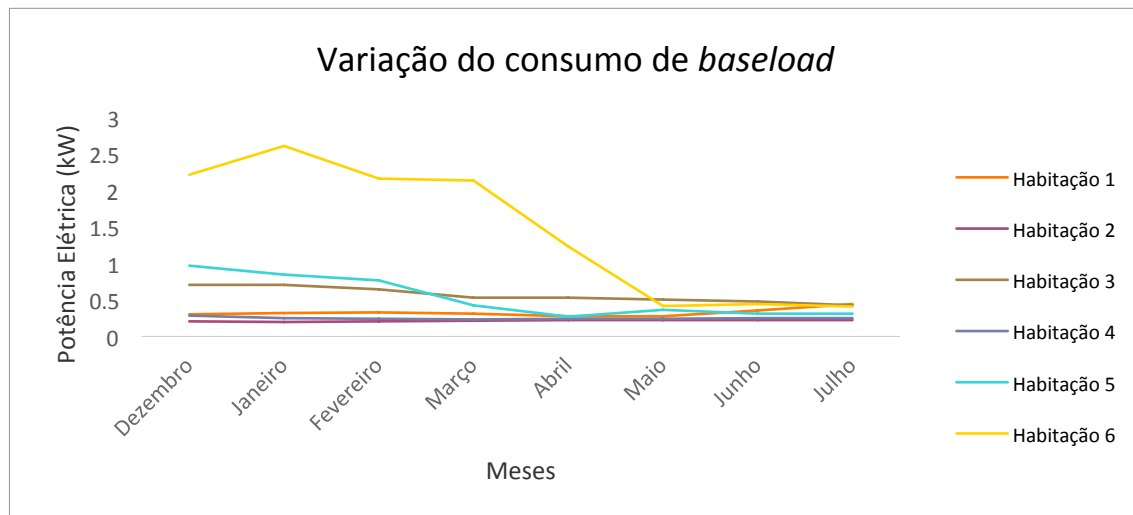
**Figura 44** Variação do consumo elétrico por intervalo de 15 minutos durante o mês de Janeiro

Como se pode observar, o perfil de consumo de ambos os gráficos é semelhante, no entanto, no primeiro gráfico o consumo *baseload* situou-se entre as 16h00 e as 17h00 enquanto que, no segundo gráfico, este situou-se entre as 17h30 e 17h45. Isto deve-se ao fato de, para períodos de 15 minutos, o estudo ser mais pormenorizado devido ao cálculo da média ser realizado em períodos mais reduzidos. Por exemplo, se entre as 16h00 e 16h15, ocorrer um período de consumo de energia elétrica reduzido mas no período das 16h15 até às 17h00 ocorrer um período de elevado consumo, a média do consumo entre as 16h00 e 17h00 seria elevada. Decidiu-se então realizar o estudo para os dois períodos de forma a aferir com maior eficácia o período real de consumo de *baseload*. É de referir que na análise dos dados para o consumo com períodos de 15 minutos, em aproximadamente 45% das vezes, esse resultado insere-se no mesmo período de tempo da análise realizada com períodos horários. A título exemplificativo, no mês de Março de 2014 na habitação 1, o consumo de *baseload* horário ocorreu entre as 05h00 e as 06h00 enquanto que, com o período de 15 minutos, ocorreu entre as 05h45 e as 06h00.

### 5.7.2. RESULTADOS

O consumo *baseload* está associado ao fato dos utilizadores possuírem apenas equipamentos que utilizam energia elétrica ou possuírem equipamentos que utilizem outras fontes de energia como, por exemplo, o gás. Além disso, pode também estar associado com

a dimensão da habitação e ainda com o número de habitantes da mesma. Deste modo, não foi o objetivo deste estudo a comparação entre as diferentes habitações. No gráfico da figura 45, apresentam-se os resultados do consumo de *baseload* das 6 habitações durante os meses de Dezembro de 2013 e Julho de 2014.

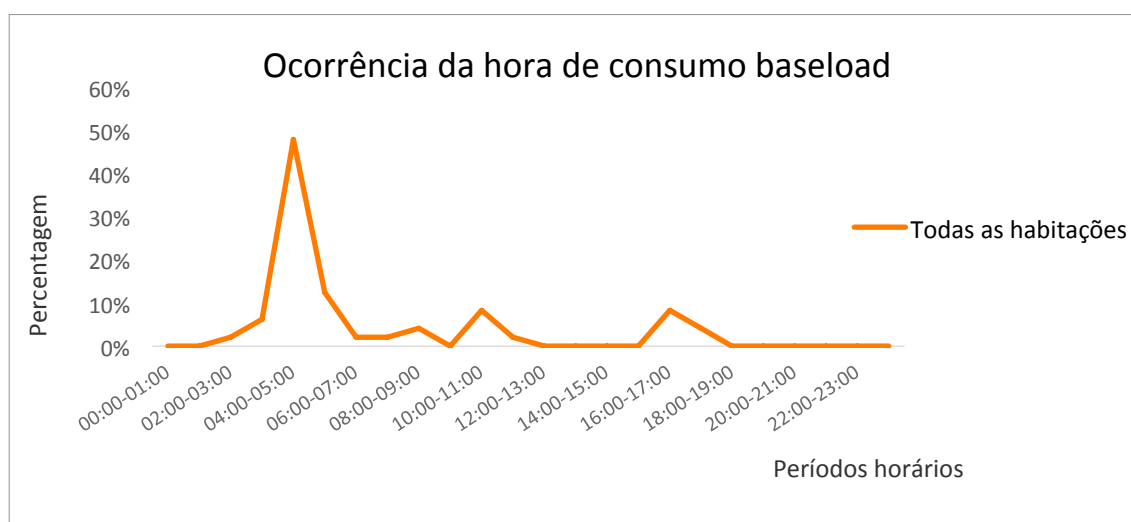


**Figura 45** Variação do consumo de *baseload* das seis habitações

Como se pode observar, a maioria das habitações exibe um consumo de *baseload* similar ao longo dos meses. Como referido anteriormente, um dos fatores resultantes do consumo de *baseload* são as cargas contínuas, nomeadamente os equipamentos de climatização. Portanto, os consumos *baseload* elevados poderão estar relacionados com o uso de equipamentos de climatização elétricos durante todo o dia. Pela análise do gráfico, esse poderá ser o caso da habitação 6, que exibe um grande consumo de *baseload* durante os meses de Inverno, sendo este reduzido significativamente a partir do mês de Maio. Como Vila Nova de Gaia apresenta baixas necessidades energéticas de arrefecimento, este fato poderá explicar a redução drástica do consumo de *baseload* da habitação 6 a partir do início dos meses de Verão. O mesmo tende a acontecer nas habitações 3 e 5, todavia, de forma menos expressiva, já que a redução do consumo depois dos meses de Inverno é reduzida. As restantes habitações exibem-se constantemente ao longo do ano, o que poderá indicar que a climatização possa ser realizada através de outra fonte de energia como, por exemplo, o gás. Este é exatamente o cenário da habitação 2, já caracterizada no início do capítulo 5, onde se pode observar no resultado do questionário, que esta habitação utiliza gás natural para climatização ambiente. Como outras possíveis razões para os consumos de

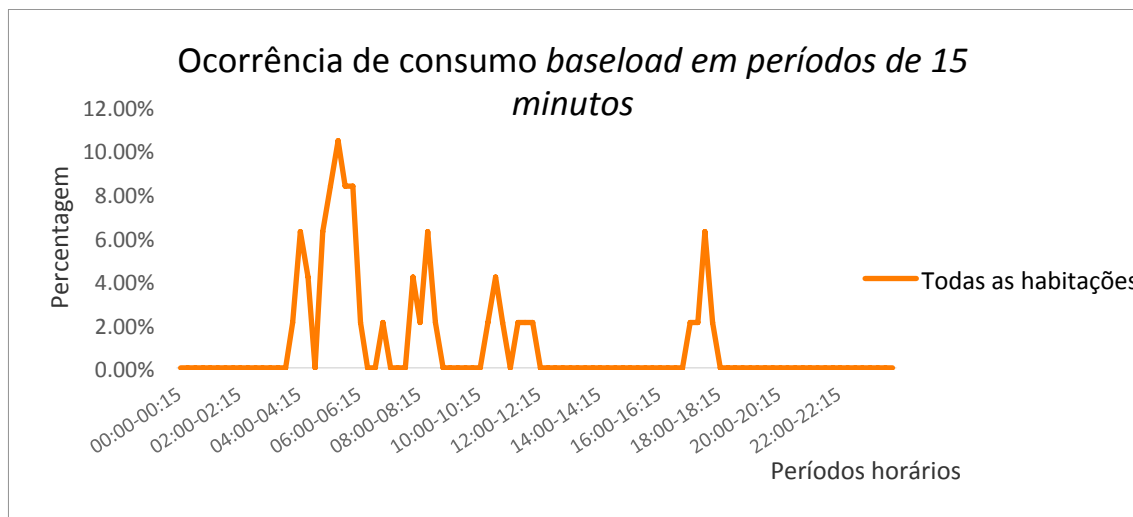
*baseload* tão elevados apresentados pela habitação 6 (acima de 2kW) poderão apontar-se aquários, desumidificadores ou bombas de piscinas a funcionar 24 horas.

Pode questionar-se ainda a variabilidade de ocorrência da hora de menor consumo. Teoricamente, o período mais propício a ocorrer um menor consumo será durante a madrugada, uma vez que, habitualmente, os utilizadores não se encontram a realizar nenhuma atividade. Na maioria das habitações esse período foi, de fato, o mais propício a ocorrer a hora de menor consumo, ou o período de 15 minutos de menor consumo. Porém, existem outros períodos do dia onde as habitações se encontram vazias e que apresentam consumos reduzidos. No gráfico da figura 46, apresenta-se a probabilidade de ocorrência do consumo de *baseload* em períodos horários.



**Figura 46** Probabilidade de ocorrência da hora de consumo de *baseload*

Como se pode observar pelo gráfico acima, a maioria das ocorrências de consumo de *baseload* situou-se entre as 03h00 e 06h00, sendo que mais de 45% se situaram entre as 04h00 e 05h00. Este fato indica claramente que a altura mais indicada para observar o consumo *baseload* encontra-se de madrugada, contudo, existem outros períodos do dia propícios a essa ocorrência. No gráfico da figura 47, é possível observar de forma mais pormenorizada os períodos de ocorrência do consumo de *baseload*, por estarem explicitados em períodos de 15 minutos.



**Figura 47 Probabilidade de ocorrência do período de 15 minutos de consumo de *baseload***

No gráfico da figura 47 existe uma disposição mais homogênea das ocorrências de consumo *baseload*, onde os períodos compreendidos entre as 18h00 e 19h00 e as 10h00 e 12h00 se apresentam com elevada probabilidade. Todavia, o período entre as 03h45 e 06h15 é aquele que se apresenta, de fato, com maior probabilidade de ocorrência de consumo *baseload*, resultando numa percentagem de 56,25%.

## 6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Um dos objetivos que motivou o desenvolvimento deste trabalho foi o de comprovar que a monitorização de recursos energéticos como a água e o gás aliados à monitorização de energia elétrica aumentam a performance de um modelo na desagregação de cargas. De modo a alcançar este objetivo, realizou-se um estudo sobre o que já tinha sido desenvolvido na temática do NILM encontrando, de fato, algumas lacunas devido à inclusão única de dados relativos ao consumo de energia elétrica nos trabalhos estudados. Depois de conhecer o estado da arte desta temática, decidiu-se então compreender o perfil de funcionamento elétrico de alguns aparelhos domésticos com o intuito de os utilizar como base de comparação no modelo de desagregação de cargas. Esse estudo permitiu concluir que existem determinados aparelhos com perfis elétricos de funcionamento característicos que podem ser detetados através de um modelo de comparação de perfis.

Optou-se, desta forma, por desenvolver um modelo de desagregação de cargas em ambiente MATLAB, para dois aparelhos que exibem perfis de funcionamento próprios, sendo estes, a máquina de lavar loiça e a máquina de lavar roupa. Além disso, estes aparelhos apresentam consumo de energia elétrica em simultâneo com consumo de água. Neste sentido, decidiu-se, primeiramente, comprovar a eficácia de performance do modelo

desenvolvido, utilizando dados de consumo de energia elétrica relativos a duas habitações do Reino Unido. O modelo provou apresentar bons resultados tanto na habitação 1 como na habitação 2, identificando, respetivamente, 94% e 74% das máquinas de lavar loiça e 76% e 67% das máquinas de lavar roupa.

Devido à falta de dados de consumo individuais destes dois aparelhos, no que diz respeito ao projeto piloto das 6 casas de Vila Nova de Gaia, não foi possível comprovar quantitativamente a mais valia da monitorização da água, neste caso, em conjunto com a energia elétrica para a desambiguação de cargas. Contudo, os casos de estudo apresentados comprovam que a monitorização da água acresce uma nova condição ao algoritmo, que permite aumentar a confiança e eficácia do modelo.

Portanto, os casos apresentados permitem concluir que a monitorização de outros recursos energéticos auxiliam o modelo de desagregação de cargas, permitindo incluir informação vital aquando da sua identificação. Existem, hoje em dia, alguns bancos de dados de consumo elétrico de aparelhos e, neste sentido, seria interessante alargar os mesmos ao consumo de água e gás aos aparelhos aplicáveis.

Outro dos objetivos deste projeto foi o de implementar medidas de eficiência energética e quantificar as suas potenciais poupanças. Para tal, desenvolveu-se um pequeno questionário de forma a que os utilizadores das habitações em estudo fornecessem informação para, dessa forma, ser possível a caracterização das habitações. Optou-se por analisar a habitação 2 uma vez que era uma habitação em que seria possível aplicar todas as tecnologias de eficiência energética descritas ao longo deste estudo. Para esse efeito, implementaram-se os sistemas de redução de caudal, que se comprovou ser um investimento rentável e com período de retorno de investimento inferior a três meses. Relativamente às poupanças de água, estas seriam superiores a 1,4 m<sup>3</sup>/mês no caso das torneiras e 2,4 m<sup>3</sup>/mês para o chuveiro. No que diz respeito ao sistema solar térmico, devido ao fato da habitação 2 possuir uma caldeira a gás natural, este apresentaria poupanças anuais reduzidas, sendo que o período de retorno de investimento fixou-se abaixo dos 30 anos. Já a substituição da caldeira convencional da habitação 2, por uma caldeira de condensação, também não se revelou um investimento muito rentável, pois as necessidades de aquecimento de Vila Nova de Gaia não são elevadas, resultando numa poupança anual inferior a 20€ e um período de retorno de investimento de 32 anos. Por fim, quanto à iluminação eficiente, apesar de ser um estudo abrangente e poder ser

implementado em qualquer habitação, revelou ter poupanças elevadas aquando da substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes ou LED.

Conclui-se também que a época do ano poderá influenciar elevados índices de consumo de *baseload* em habitações que disponham de equipamentos elétricos para a climatização ambiente. Contrariamente, habitações que apresentem equipamentos de climatização de outra forma de energia que não a elétrica, poderão apresentar consumos *baseload* similares ao longo do ano. Outra conclusão a retirar é que o consumo *baseload* pode ocorrer em qualquer altura do dia, porém, o período mais favorável encontra-se entre as 03h45 e 06h15, visto ter apresentado uma percentagem de ocorrência de 56,25% no estudo efetuado.

Como perspetivas futuras, entende-se que seria de interesse e importância desenvolver um interface gráfico para o utilizador de forma a facilitar a interação com o modelo. A acrescentar a isso, deveria alargar-se o leque de aparelhos passíveis de serem identificados como o frigorífico, fogão, forno, entre outros. O objetivo intrínseco a estas medidas seria incorporar todos os equipamentos de maiores cargas nas habitações domésticas, indo ao encontro do que algumas empresas já oferecem, com cerca de cinco equipamentos identificáveis. Outro desenvolvimento interessante seria elaborar um estudo acerca da influência que um sistema de monitorização não intrusiva, aliado ao modelo de desagregação de cargas, teria na consciencialização dos utilizadores para o consumo de cada aparelho e, conseqüentemente, aumentar a eficiência energética no setor doméstico.



## *Referências Documentais*

- [1] US Energy Information Administration, “International Energy Outlook”, 2013.
- [2] Y. Chisik, “An Image of Electricity: Towards an Understanding How People Perceive Electricity”, 2011.
- [3] G. W. Hart, “Nonintrusive Appliance Load Monitoring”, Proceedings of the IEEE, Vol. 80, pp. 1870-1891, 1992.
- [4] M. Zeifman, K. Roth, “Nonintrusive appliance load monitoring: Review and outlook”, IEEE Trans. Consum. Electron, 57, pp. 76–84, 2011.
- [5] M. Baranski, J. Voss, “Non-Intrusive Appliance Load Monitoring Based on an Optical Sensor”, Proceedings of IEEE Power Tech Conference, Bologna, Italy, pp. 8–16, 2003.
- [6] A. Zoha, A. Gluhak, M.A. Imran and S. Rajasegarar, “Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated Energy Sensing: A Survey”, 2012.
- [7] L. Farinaccio, R. Zmeureanu, “Using a pattern recognition approach to disaggregate the total electricity consumption in a house into the major end-uses”, Energy and Buildings, vol. 30, pp. 245-259, 1999.
- [8] M. Baranski, J. Voss, “Non-Intrusive Appliance Load Monitoring Based on an Optical Sensor”, IEEE Power Tech Conference, Bologna, 2003.
- [9] M. Baranski, J. Voss, “Genetic Algorithm for Pattern Detection in NIALM Systems”, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 3462-3468, 2004.
- [10] M. Baranski, J. Voss, “Detecting Patterns of Appliances from Total Load Data Using a Dynamic Programming Approach”, Fourth IEEE International Conference on Data Mining (ICDM’04), 2004.
- [11] A.G. Ruzzelli, C. Nicolas, A. Schoofs, G.M.P. O’Hare, “Real-Time Recognition and Profiling of Appliances through a Single Electricity Sensor”, 2010.
- [12] C. Laughman, K. Lee, R. Cox, S. Shaw, S. Leeb, L. Norford, P. Armstrong, “Power Signature Analysis”, IEEE Power & Energy Magazine, pp. 56-63, 2003.
- [13] K.D. Lee, S.B. Leeb, L.K. Norford, P.R. Armstrong, J. Holloway, S.R. Shaw, “Estimation of Variable-Speed-Drive Power Consumption from Harmonic Content”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 20, pp. 566-574, 2005.
- [14] W. Wichakool, A.T. Avestruz, R.W. Cox, S.B. Leeb, “Modeling and Estimating Current Harmonics of Variable Electronic Loads”, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 24, pp. 2803-2811, 2009.

- [15] D. Srinivasan, W. S. Ng, A. C. Liew, “Neural-Network-Based Signature Recognition for Harmonic Source Identification”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21, pp. 398-405, 2006.
- [16] S. N. Patel, T. Robertson, J.A. Kientz, M.S. Reynolds, G.D. Abowd, “At the Flick of a Switch: Detecting and Classifying Unique Electrical Events on the Residential Power Line”, *Conference on Ubiquitous Computing*, pp. 271-288, 2007.
- [17] S. Gupta, M. S. Reynolds, S. N. Patel, “ElectriSense: Single-Point Sensing Using EMI for Electrical Event Detection and Classification in the Home”, *Conference on Ubiquitous Computing*, pp. 139-148, 2010.
- [18] H.Y. Lam, G. S. K. Fung, W. K. Lee, “A Novel Method to Construct Taxonomy of Electrical Appliances Based on Load Signatures”, *IEEE Trans. Consumer Electron*, vol. 53, no. 2, pp. 653-660, 2007.
- [19] K. Suzuki, S. Inagaki, T. Suzuki, H. Nakamura, K. Ito, “Nonintrusive Appliance Load Monitoring Based on Integer Programming”, *SICE Annual Conference*, pp. 2742-2747, 2008.
- [20] T. Kato, H. S. Cho, D. Lee, T. Toyomura, T. Yamazaki, “Appliance Recognition from Electric Current Signals for Information-Energy Integrated Network in Home Environments”.
- [21] Z. Wang, G. Zheng, “Residential appliances identification and monitoring by a nonintrusive method”, *IEEE Trans. Smart Grid* 2012, 3, 80–92, 2012.
- [22] H. Kim, M. Marwah, M. Arlitt, G. Lyon, J. Han, “Unsupervised Disaggregation of Low Frequency Power Measurements”, *Proceedings of the 11th SIAM International Conference on Data Mining*, Mesa, AZ, USA, 28–30, 2011.
- [23] M. Zeifman, “Disaggregation of home energy display data using probabilistic approach”, *IEEE Trans. Consum. Electron*, 58, 23–31, 2012.
- [24] Y. Kim, T. Schmid, M.B. Srivastava, Y. Wang, “Challenges in Resource Monitoring for Residential Spaces”.
- [25] J. Froehlich, E. Larson, T. Campbell, C. Haggerty, J. Fogarty, S. N. Patel, “HydroSense: Infrastructure-Mediated Single-Point Sensing of Whole-Home Water Activity”.
- [26] Y. Kim, T. Schmid, Z. M. Charbiwala, J. Friedman, M.B. Srivastava, “NAWMS: Nonintrusive Autonomous Water Monitoring System”.
- [27] G. Cohn, S. Gupta, J. Froehlich, E. Larson, S. N. Patel, “GasSense: Appliance-Level, Single-Point Sensing of Gas Activity in the Home”.
- [28] J. Chen, A.H. Kam, J. Zhang, N. Liu, L. Shue, “Bathroom Activity Monitoring Based on Sound”, *Pervasive Computing* 2005, pp. 47-61, 2005.
- [29] Y. Kim, T. Schmid, Z. Charbiwala, M.B. Srivastava, “ViridiScope: design and implementation of a fine grained power monitoring system for homes”, *UbiComp*

2009, pp. 245-254, 2009.

- [30] D. Wilson, C.G Atkeson, “STAR: Simultaneous Tracking & Activity Recognition Using Many Anonymous Binary Sensors”, *Pervasive Computing 2005*, pp. 62-79 2005.
- [31] EDP, “Redy”, 2014, <http://www.energia.edp.pt/redy>.
- [32] TED, “How Ted Pro Works”,  
<http://www.theenergydetective.com/downloads/HowTEDproWorks.pdf>.
- [33] TED, “Ted 5000 FOOTPRINTS User Manual”, 2009,  
<http://www.theenergydetective.com/downloads/ted5000-usermanual.pdf>.
- [34] Powersavvy, “You can be power savvy too”, <http://www.powersavvy.ie/home>.
- [35] Wattics, <http://www.wattics.com>.
- [36] ADENE, “Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial”, 2004.
- [37] INE/DGEG, “Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010”, 2010.
- [38] J. Z. Kolter, M. J. Johnson, “REDD: A public data set for energy disaggregation research”, *Proceedings of the SustKDD workshop on Data Mining Applications in Sustainability*, 2011.
- [39] A. Reinhardt, P. Baumann, D. Burgstahler, M. Hollick, H. Chonov, M. Werner, R. Steinmetz, “On the Accuracy of Appliance Identification Based on Distributed Load Metering Data”, *Proceedings of the 2nd IFIP Conference on Sustainable Internet and ICT for Sustainability (SustainIT)*, pp. 1-9, 2012.
- [40] S. Makonin, F. Popowich, L. Bartram, B. Gill, I.V. Bajic, “AMPds: A Public Dataset for Load Disaggregation and Eco-Feedback Research”, 2013.
- [41] Ecocasa, “Dentro de casa – Máquinas de lavar”,  
[http://ecocasa.pt/agua\\_content.php?id=41](http://ecocasa.pt/agua_content.php?id=41).
- [42] J. Kelly, W. Knottenbelt, “UK-DALE’: A dataset recording UK Domestic Appliance-Level Electricity demand and whole-house demand”, 2014.
- [43] S. Kalogirou, “Solar Energy Engineering: Processes and Systems”, 1st ed., 760 pp, Elsevier, 2009
- [44] R. Comini, F. Clement, F. Puente, A. Orlandi, I. Oliveira, P. Lima e D. Beirão, “Eficiência energética nos edifícios residenciais”, 2008.
- [45] EDP, “Caldeiras de condensação”, 2013, <http://www.edpgassu.pt/index.php?id=361>.

- [46] ADENE, “A luz certa em sua casa”, 2010.
- [47] ADENE, “Guia da eficiência energética”, 2012.
- [48] R. Castro, “Uma introdução às Energias Renováveis: Eólica”, Fotovoltaica e Mini-Hídrica, 2011.
- [49] P. Vieira, A.M. Silva, M. Baptista, J. Almeida, M.C. Ribeiro, 2002. “Inquérito aos hábitos de utilização e consumos de água na habitação”, 10º Encontro Nacional de Saneamento Básico/10º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Braga, Portugal.
- [50] Comunidade Intermunicipal da Região de Aveiro – Baixo Vouga, “Guia de Boas Práticas, Uso Sustentável de Água”.
- [51] Castroelectronica, <http://www.castroelectronica.pt/product/lampada-incandescente-simples-e27-60w—homepluss>.
- [52] Phillips, “Tabela de iluminação profissional”, 2014.

## Anexo A. Pseudo-Códigos MATLAB

Neste anexo são descritos alguns pseudo-códigos relativos ao algoritmo de desagregação de consumos.

### PSEUDO-CÓDIGO 1

*diferença\_potencia=consumo(i)-consumo(i-1)*

*IF consumo(i)>consumo(i-1) AND PA-MA<diferença\_potencia<PA+MA*

*THEN consumo\_atual=consumo(i)*

### PSEUDO-CÓDIGO 2

*IF consumo\_atual-MA1 <consumo(i...i+6) < consumo\_atual+MA1*

*THEN hora\_início\_aquecimento=hora\_inicial*

### PSEUDO-CÓDIGO 3

*diferença\_potencia2=consumo(i)-consumo(i+1)*

*IF consumo(i)>consumo(i+1) AND PA-MA<diferença\_potencia2<PA+MA*

*THEN hora\_fim\_aquecimento=hora\_final*

### PSEUDO-CÓDIGO 4

*Tempo\_lavagem=hora\_fim\_aquecimento(i+1) -hora\_início\_aquecimento(i)*

*IF 60min<Tempo\_lavagem<150min*

*THEN PRINT ciclo\_lavagem*

### **PSEUDO-CÓDIGO 5**

*diferença\_potencia=consumo(i)-consumo(i-1)*

*IF consumo(i)>consumo(i-1) AND PA-MA<diferença\_potencia<PA+MA*

*THEN consumo\_atual=consumo(i)*

### **PSEUDO-CÓDIGO 6**

*IF consumo\_atual-MA1 <consumo(i...i+10)< consumo\_atual+MA1*

*THEN hora\_início\_aquecimento=hora\_inicial*

### **PSEUDO-CÓDIGO 7**

*diferença\_potencia2=consumo(i)-consumo(i+1)*

*IF consumo(i)>consumo(i+1) AND PA-MA<diferença\_potencia2<PA+MA*

*THEN hora\_fim\_aquecimento=hora\_final*

### **PSEUDO-CÓDIGO 8**

*soma\_centrifugação =* 
$$\sum_{i=hora\_fim\_aquecimento}^{hora\_fim\_ciclo} consumo\_electrico\ i$$

*media\_centrifugação=soma\_centrifugação/80*

### **PSEUDO-CÓDIGO 9**

*IF media\_centrifugação <consumo\_aquecimento\_agua-1 +MC*

*THEN hora\_fim\_ciclo=hora\_final*

### **PSEUDO-CÓDIGO 10**

$$\sum_{i=\text{hora\_inicio\_aquecimento}}^{\text{hora\_fim\_secagem}} \text{consumo\_agua } (i)$$

*IF*            *6 litros < consumo\_agua < 22 litros*

*THEN*        *PRINT ciclo\_lavagem AND consumo\_agua*

### **PSEUDO-CÓDIGO 11**

$$\sum_{i=\text{hora\_inicio\_aquecimento}}^{\text{hora\_fim\_ciclo}} \text{consumo\_agua } i$$

*IF*            *37 litros < consumo\_agua < 77 litros*


*THEN*        *PRINT ciclo\_lavagem AND consumo\_agua*



# Anexo B. Medidas de eficiência energética

## 1 - Questionário para avaliação de propostas de eficiência energética

**Questionário - Habitação 1**



Qual o número de pessoas na habitação?

Possui tarifa bi-horária?  
 Sim  
 Não

Qual o sistema de climatização ambiente?  
 Ar-condicionado  
 Pavimento radiante  
 Radiador elétrico  
 Caldeira a gás  
 Caldeira a gasóleo  
 Caldeira a biomassa  
 Acumulador de calor  
 Bomba de calor  
 Recuperador de calor  
 Chiller  
 Outra:

Qual o sistema de AQS (Águas Quentes Sanitárias)?  
 Sistema solar térmico  
 Termoacumulador/Esquentador a gás  
 Termoacumulador/Esquentador elétrico  
 Bomba de calor  
 Caldeira a gás  
 Caldeira elétrica  
 Outra:

Qual o tipo de fogão que possui?  
 Gás Natural  
 Gás Propano/Butano  
 Eletricidade/Vidro-cerâmica  
 Eletricidade/Indução  
 Outra:

Possui sistema(s) de redução de caudal na(s) torneira(s)?  
 Sim  
 Não  
 Não sei

Possui autoclismo(s) com volume de descarga reduzido?  
 Sim  
 Não  
 Não sei

O(s) chuveiro(s) são de caudal reduzido?  
 Sim  
 Não  
 Não sei

## 2 – Instalar redutores de caudal para torneira

O consumo de água (m<sup>3</sup>/mês) obtém-se através da multiplicação do consumo de água total da habitação pela percentagem de água de 16% correspondente às torneiras da figura 41.

Portanto:

$$\text{Consumo de água total} * 16\%$$

$$10,667 * 16\% = 1,658 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Considerou-se a poupança estipulada pelo fabricante de 87%

$$\text{Poupança} = 1,658 * 87\% = 1,443 \text{ m}^3/\text{mês}$$

A poupança total anual resulta do cálculo da quantidade de água poupada anualmente, pelas tarifas aplicadas pelo município de Vila de Nova de Gaia para água, saneamento e resíduos sólidos urbanos, que se encontram na tabela seguinte. Considerou-se o escalão três para a habitação em estudo.

### Tarifas para o município de Vila Nova de Gaia

Tarifa água	m <sup>3</sup>	€	IVA	€
1º Escalão	1 a 5	0,45	0,06	0,477
2º Escalão	6 a 10	0,98	0,06	1,0388
3º Escalão	11 a 20	2,2	0,06	2,332
4º Escalão	21 a 40	2,5	0,06	2,65
5º Escalão	mais de 40	2,5	0,06	2,65
Tarifa Saneamento				
Tarifa Saneamento	m <sup>3</sup>	€	IVA	€
1º Escalão	1 a 5	0,45	0,06	0,477
2º Escalão	6 a 10	0,7	0,06	0,742
3º Escalão	11 a 20	0,8	0,06	0,848
4º Escalão	21 a 40	0,8	0,06	0,848
5º Escalão	mais de 40	0,8	0,06	0,848
Tarifa de Resíduos Sólidos Urbanos				
Tarifa de Resíduos Sólidos Urbanos	m <sup>3</sup>	€	IVA	€
1º Escalão	1 a 5	0,45	0,06	0,477
2º Escalão	6 a 10	0,85	0,06	0,901

<b>3º Escalão</b>	11 a 20	1,4	0,06	1,484
<b>4º Escalão</b>	21 a 40	1,4	0,06	1,484
<b>5º Escalão</b>	mais de 40	1,4	0,06	1,484

O *payback* é calculado dividindo o investimento pelas poupanças anuais.

### 3- Painel Solar



**MODELO A1 / TS 200 E / FCC** **CÓDIGO** **PREÇO S/ IVA**

• **Kit termossifão de 200 litros, para instalação em telhado inclinado** que inclui os seguintes componentes: • Painel solar para instalação na vertical (FCC-15) • Depósito de acumulação de cor cinza, de dupla envoltiva de 195 l de capacidade útil, com possibilidade de apoio elétrico (TS 200-1 E) e vaso de expansão incorporado • Kit de acessórios de ligação, com tubagens em EPDM reforçadas com nylon (WFS 61-200) • Estrutura de suporte para telhado inclinado e vento normal, fabricada em alumínio (WSA 1)

**7 736 501 076** **1 530,00 €**

Nota: **não inclui** ganchos de fixação ao telhado. **Não inclui** líquido solar (necessário 1 unidade de WTF 20 S); resistência elétrica para o depósito de acumulação TS 200-1 E; vaso de expansão para circuito de água fria nem válvula misturadora.

### Módulo Solar



**MODELO B-SOL 100** **CÓDIGO** **PREÇO S/ IVA**

• **Controlador solar** indicado para 1 aplicação solar • Ideal para instalações solares individuais de aquecimento de água sanitária • Display digital LCD iluminado com indicação de temperaturas no painel, depósitos (ou outras), códigos de anomalia, modo de funcionamento e estado da bomba • Ajuste do diferencial de temperatura • Seleção de temperatura máxima no depósito solar • Fácil leitura das temperaturas do depósito e painel • Modo antigelo eletrónico • Possibilidade de trabalhar com velocidade variável da bomba e ajuste da zona de modulação • 3 entradas para sondas de temperatura NTC e 1 saída triac (velocidade variável) • Inclui 2 sondas de temperatura • Instalação na parede • **Dimensões:** A 190 x L 170 x P 50 mm

**7 747 004 419** **190,00 €**

### 4 – Fórmula de conversão de m<sup>3</sup> para kWh:

$$\text{Consumo (m}^3\text{)} * \text{FCV} * \text{PCS} = \text{Consumo (kWh)}$$

**FCV** – Fator de correção de volume

**PCS** - Poder Calorífico Superior do Gás Natural. Valor correspondente à média aritmética dos valores de PCS mensal, relativos a todos os meses já concluídos e englobados no período de faturação. Os valores de PCS mensal são determinados pela média aritmética dos valores de PCS diário correspondentes.

Para habitação 2, admitiu-se FCV=0,98121100 e PCS=11,67915900

## 5 - Tabela auxiliar para calculo do custo de gás para AQS

EDPGÁS SERVIÇO UNIVERSIAL

TARIFAS TRANSITÓRIAS DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM BAIXA PRESSÃO < 10.000 m <sup>3</sup> /ano				EDPGÁS
Escalaço	(m <sup>3</sup> /ano)	Termo tarifário fixo	Energia	Termo tarifário fixo
		(€/mês)	(€/kWh)	(€/dia)
Escalaço 1	0 - 220	2,31	0,0794	0,0760
Escalaço 2	221 - 500	3,44	0,0746	0,1131
Escalaço 3	501 - 1 000	5,10	0,0702	0,1678
Escalaço 4	1 001 - 10 000	5,39	0,0634	0,1772

