



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação**

**Sistemas Inteligentes para melhoria da eficiência  
energética em edifícios**

**ANDRÉ FILIPE DE OLIVEIRA MONTEIRO**  
Licenciado

Dissertação para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Energia

Orientador (es):

Professor Doutor Filipe André de Sousa Figueira Barata  
Professora Doutora Rita Marcos Fontes Murta Pereira

Júri:

Presidente: Professor Doutor Luís Manuel dos Santos Redondo  
Vogais:

Professora Doutora Carla Solange Pires Correia Viveiros  
Professor Doutor Filipe André de Sousa Figueira Barata

**Outubro de 2017**





**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação**

**Sistemas Inteligentes para melhoria da eficiência  
energética em edifícios**

**ANDRÉ FILIPE DE OLIVEIRA MONTEIRO**  
Licenciado

Dissertação para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Energia

Orientador (es):

Professor Doutor Filipe André de Sousa Figueira Barata  
Professora Doutora Rita Marcos Fontes Murta Pereira

Júri:

Presidente: Professor Doutor Luís Manuel dos Santos Redondo

Vogais:

Professora Doutora Carla Solange Pires Correia Viveiros  
Professor Doutor Filipe André de Sousa Figueira Barata

**Outubro de 2017**



## Resumo

*Esta tese incide sobre o desenvolvimento de um modelo para um controlador inteligente que permite a redução de custos associados ao consumo de energia elétrica numa habitação. São analisados perfis de funcionamento de equipamentos e elaborados os seus diagramas de cargas que possibilitam o estudo das medidas mais adequadas a implementar de forma a reduzir o consumo energético. É desenvolvido um controlador inteligente responsável pela gestão dos equipamentos e domótica da habitação. É desenvolvido um sistema de Lógica Fuzzy em conjunto com Redes Neurais Artificiais para implementar os controladores e é analisada a sua influência redução da fatura energética da habitação. São também estudadas medidas que utilizam de fontes de energias renováveis em conjunto com um sistema de armazenamento de energia.*

**Palavras-Chave:** *Eficiência energética; Lógica Fuzzy; Redes Neurais Artificiais; Controlo Inteligente.*



## **Abstract**

*This thesis focuses on a smart controller model development capable of reducing the costs associated to the electric energy consumption in a habitation. Equipment load profiles are analyzed and load diagrams developed which will enable the study of the most appropriate measures to use in order to reduce the energy consumption. A controller based in intelligent systems is developed to perform equipment management and domotics. Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks are used to implement the controllers and their influence on the bill reduction is analyzed. Renewable energy generation associated with an energy storage system is considered and analyzed.*

**Keywords:** *Energy efficiency; Fuzzy Logic; Artificial Neural Networks; Smart Control.*



## Agradecimentos

*Não existe agradecimento suficiente capaz de transmitir toda a ajuda e importância daqueles que foram relevantes na minha vida académica e em especial no decorrer desta tese.*

*À Professora Doutora Rita Pereira e Professor Doutor Filipe Barata agradeço todos os ensinamentos, cooperação e disponibilidade apresentados não só ao longo desta tese, mas também ao longo da licenciatura e mestrado. Foram cruciais para que conseguisse chegar ao dia de entrega com um documento que ache importante e relevante para o desenvolvimento das minhas capacidades nesta área.*

*A todos os professores que não vou nomear com receio de esquecer alguém que participou e cooperou comigo durante esta jornada.*

*Aos colegas Carlos Antunes e Ruben Peças que foram importantes quando a licenciatura parecia apenas um objetivo que seria incapaz de concretizar.*

*Aos colegas Gonçalo Barata e Válter Batista que se mostraram sempre presentes com um sentido de humor inigualável, capazes de ajudar a superar qualquer dificuldade que se apresentasse.*

*Aos colegas José Correia, João Carvalhuço, Yannick Pedrosa e João Serra que sempre estiveram presentes ao longo do percurso do mestrado e foram essenciais para melhorar o meu desempenho.*

*Aos meus familiares em especial pais e avós que suportaram não só as despesas relativas à minha formação académica, mas acima de tudo foram o pilar mais importante no meu desenvolvimento como pessoa.*

*À Andreia a quem agradeço toda a força, compreensão, companheirismo e dedicação, sem os quais eu não teria sido capaz de me apresentar todos os dias com vontade suficiente para realizar e superar os obstáculos propostos ao longo deste caminho.*

*Agradeço a todos aqueles que não mencionei, mas que de alguma forma foram importantes no meu percurso como estudante.*



# Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação .....	2
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Contributos .....	3
1.4	Estrutura .....	4
2	Estado de Arte.....	5
2.1	Estado de Arte .....	6
2.1.1	Melhoramento do isolamento térmico dos edifícios .....	7
2.1.2	Hardware utilizado em sistemas de controlo .....	8
2.1.3	Controlo de Habitantes.....	9
2.1.4	Controlo do AVAC .....	11
2.1.5	Controlo de Cargas .....	12
2.1.6	Controlo de luminosidade e iluminação .....	13
2.1.7	Utilização de Energias Renováveis.....	14
2.1.8	Armazenamento de Energia.....	16
2.1.9	Demand-side Management.....	17
2.2	Sistemas Inteligentes para eficiência energética.....	18
2.3	Conclusão .....	20
3	Caracterização do diagrama de carga da habitação .....	23
3.1	Caracterização da habitação e equipamentos.....	24
3.2	Perfis e Diagrama de Carga.....	26
3.3	Conclusão.....	34
4	Análise da implementação das soluções propostas .....	37
4.1	Introdução.....	38
4.1.1	Redes Neurais Artificiais .....	39
4.1.2	Controlo de Sistemas com Lógica Fuzzy .....	40
4.2	Medidas de menor impacto energético .....	48
4.2.1	Iluminação .....	48
4.2.2	Controlo Inteligente de Iluminação e Luminosidade .....	52
4.2.3	Controlo de Cargas .....	58
4.3	Medidas de maior impacto energético .....	62
4.3.1	Controlo do AVAC .....	62
4.3.2	Energias Renováveis e Controlo do Armazenamento de Energia.....	80
4.4	Conclusão.....	90
5	Conclusões.....	93



# Lista de Figuras

Figura 1- Esquema do Controlador .....	21
Figura 2- Perfil de carga (Máquina de Lavar Louça).....	27
Figura 3- Perfil de carga (Máquina de Secar Roupa) .....	27
Figura 4- Perfil de carga (Máquina de Lavar Roupa).....	28
Figura 5- Perfil de carga (Frigorífico) .....	28
Figura 6- Perfil de carga (Televisão LCD).....	29
Figura 7- Perfil de carga (Computador) .....	29
Figura 8- Perfil de carga (Lâmpada de 100W).....	30
Figura 9- Perfil de carga de equipamento de baixa potência (Router) .....	30
Figura 10- Ciclo de Carregamento do Veículo Elétrico (24kW) .....	31
Figura 11 - Perfil de carga do AVAC .....	31
Figura 12 - Tarifa bi-horária [44].....	32
Figura 13- Diagrama de Carga para 1 dia de Inverno .....	33
Figura 14- Esquema de Rede Neuronal em Feedforward [45] .....	39
Figura 15- Esquema de Rede Neuronal em Feedback [45] .....	39
Figura 16- Esquema de Controlo com Lógica Fuzzy [47].....	41
Figura 17- Esquema representativo dos operadores fuzzy .....	46
Figura 18- Esquema representativo da aplicação do método de implicação "min" .....	46
Figura 19- Esquema representativo da aplicação do método de agregação "max" .....	47
Figura 20- Esquema representativo da escolha da saída através do método de desfuzificação do centro de área .....	48
Figura 21- Consumo energético em iluminação .....	51
Figura 22- Comparação após substituição por lâmpadas LED a seis meses .....	52
Figura 23- Esquema representativo do CLF para gestão da Luminosidade e Iluminação .....	53
Figura 24- Variável de entrada referente à luminosidade .....	53
Figura 25- Variável de entrada referente às horas do dia .....	54
Figura 26- Variável de entrada referente ao estado dos estores.....	54
Figura 27- Variável de saída referente à iluminação .....	55
Figura 28- Variável de saída referente ao controlo da abertura/fecho dos estores.....	55
Figura 29- Esquema representativo do CLF para o controlo de cargas .....	60
Figura 30- Variável de entrada referente à potência dos equipamentos .....	60
Figura 31- Variável de entrada referente ao tempo máximo definido para o tempo de estabilização.....	61
Figura 32- Variável de saída referente ao estado das tomadas .....	61
Figura 33- Esquema representativo da RNA para previsão de temperatura exterior - adaptação [53].....	66
Figura 34- Esquema representativo do sistema de AVAC implementado.....	73
Figura 35- Esquema representativo do CLF para controlo da potência de saída do AVAC .....	73
Figura 36- Variável de entrada referente ao número de pessoas na habitação.....	74
Figura 37- Variável de entrada referente à temperatura no interior da habitação .....	74
Figura 38- Variável de saída referente à potência de saída do AVAC .....	75
Figura 39- Resultados referentes à variação da temperatura interior com controlo fuzzy .....	76
Figura 40- Resultados referentes à variação da potência elétrica com controlo fuzzy .....	77
Figura 41- Resultado referente ao custo de energia elétrica com controlo fuzzy .....	78
Figura 42- Resultados referentes à variação da temperatura interior sem controlo fuzzy .....	79
Figura 43- Resultados referentes à variação da potência elétrica sem controlo fuzzy .....	79
Figura 44- Resultado referente ao custo de energia elétrica sem controlo fuzzy .....	80
Figura 45- Esquema representativo do CLF para gestão do carregamento das baterias .....	82
Figura 46- Variável de entrada referente ao estado da bateria .....	83
Figura 47- Variável de entrada referente à hora do dia .....	83
Figura 48- Variável de entrada referente ao estado dos painéis fotovoltaicos .....	84
Figura 49- Variável de saída referente ao carregamento das baterias .....	84
Figura 50- Aproximação ao diagrama de carga obtido para 1 dia de Inverno.....	86
Figura 51- Calendarização do carregamento e utilização da energia armazenada .....	87

Figura 52- Diagrama representativo do consumo de energia às diferentes fontes .....	88
Figura 53- Comparação de custos com e sem armazenamento para o dia de Inverno em estudo .....	89
Figura 54- Comparação de custos entre a tarifa bi e tri-horária para o dia de Inverno em estudo .....	89

## Lista de Tabelas

Tabela 1- Caracterização dos equipamentos da Habitação .....	25
Tabela 2- Preço de Energia ERSE (Parcela Fixa) .....	34
Tabela 3- Preço de Energia ERSE (Parcela Variável) .....	34
Tabela 4- Comparação entre os 3 tipos de lâmpadas mais utilizadas (Valores convertidos de dólar americano para euro a uma taxa de 1 para 0,87726) [51].....	49
Tabela 5- Resumo de pontos de luz incandescentes da habitação e solução a LED .....	50
Tabela 6- Resumo de pontos de luz fluorescentes da habitação e solução a LED .....	50
Tabela 7- Lista de regras do CLF para gestão de iluminação .....	56
Tabela 8- Lista de regras do CLF para gestão da posição dos estores .....	56
Tabela 9- Resumo da energia consumida pela iluminação artificial entre as 18h e as 20h.....	57
Tabela 10- Análise de redução de custos com a implementação das medidas a seis meses...	57
Tabela 11- Dados referentes à duração e consumo em standby dos equipamentos .....	59
Tabela 12- Custo a seis meses causado pela energia fantasma .....	59
Tabela 13- Lista de regras do CLF para controlo de cargas .....	62
Tabela 14- Dados Relativos à libertação de calor consoante a atividade exercida [7] .....	64
Tabela 15- Valores possíveis resultantes da aplicação da correlação de Pearson .....	66
Tabela 16- Resultados do erro médio quadrático após treino para análise da qualidade da RNA .....	67
Tabela 17- Valores da toolbox "Thermal Model of a House" para cálculo dos fluxos térmicos..	69
Tabela 18- Características da habitação para cálculo da Resistência Térmica Equivalente .....	71
Tabela 19- Características/dimensões do espaço em estudo .....	71
Tabela 20- Lista de regras do CLF para obtenção da potência de saída do AVAC.....	75
Tabela 21- Lista de regras do CLF para gestão do carregamento das baterias .....	85
Tabela 22- Redução de custos após implementação do sistema de controlo .....	90



## Lista de Siglas

AG – Algoritmos Genéticos

AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado

Btu – *British Thermal Units*

CLF – Controlo com Lógica *Fuzzy*

COA – *Center of Area*

COP – *Coefficient of Performance*

CP – Controlo Preditivo

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

LED – *Light Emitting Diode*

MAPE – *Mean absolute percentage error*

MSE – *Mean square error*

PID – Proporcional Integral Derivativo

REE – Rede de Energia Elétrica

RNA – Redes Neurais Artificiais



# Lista de Variáveis

$a$  – Conjunto de valores

$\bar{a}$  – Média da amostra do conjunto “a”

$A_{\text{envidraçados}}$  – Área dos envidraçados [ $m^2$ ]

$A_{\text{paredes}}$  – Área das paredes [ $m^2$ ]

$\tilde{A}$  – Conjunto fuzzy

$b$  – Conjunto de valores

$\bar{b}$  – Média da amostra do conjunto “b”

$\tilde{B}$  – Conjunto fuzzy

COA – Center of área

Correl – Correlação de Pearson

CarregamentoBaterias – Variável de saída do CLF para Controlo do Armazenamento de Energia

Cespaço – Comprimento do espaço [ $m$ ]

Contador – Variável de entrada do CLF para Controlo de Cargas

$c$  – Capacidade de aquecimento ou arrefecimento do ar a pressão constante [ $J/kg.K$ ]

$\tilde{C}$  – Conjunto fuzzy

$dQ_{\text{avac}}/dt$  – Fluxo de calor do AVAC para o espaço [ $J/h$ ]

$dQ_{\text{final}}/dt$  – Fluxo de calor dentro do espaço [ $J/h$ ]

$dQ_{\text{habitantes}}/dt$  – Fluxo de calor dos habitantes para o espaço [ $J/h$ ]

$dQ_{\text{perdas}}/dt$  – Fluxo de calor que se perde do interior para o exterior [ $J/h$ ]

$dT_{\text{final}}/dt$  – Balanço de temperatura do espaço após perdas e aquecimento [ $K/h$ ]

$E_{\text{envidraçados}}$  – Espessura dos envidraçados [ $m$ ]

$E_{\text{paredes}}$  – Espessura das paredes [ $m$ ]

EstadoDaBateria – Variável de entrada do CLF para Controlo do Armazenamento de Energia

EstadoPaineisFotovoltaicos – Variável de entrada do CLF para Controlo do Armazenamento de Energia

EstadoTomada – Variável de saída do CLF para Controlo de Cargas

$F$  – Conjunto fuzzy genérico

Hespaço – Altura/pé direito do espaço [ $m$ ]

HoraDia – Variável de entrada do CLF para Controlo do Armazenamento de Energia

HorasDia – Variável de entrada do CLF para gestão da Iluminação e Luminosidade

Iluminação – Variável de saída do CLF para gestão da Iluminação e Luminosidade

$k_{\text{envidraçados}}$  – Fator que representa a capacidade de isolamento dos envidraçados [ $J/h/m/K$ ]

$k_{\text{paredes}}$  – Fator que representa a capacidade de isolamento das paredes [ $J/h/m/K$ ]

Lespaço – Largura do espaço [ $m$ ]

*Luminosidade* – Variável de entrada do CLF para gestão da Iluminação e Luminosidade

*MAPE* – Mean absolute percentage error

*MSE* – Mean square error

*Mar* – Massa de ar dentro do espaço [kg]

*Mdot* – Rácio de fluxo de massa de ar que saí do AVAC [kg/h]

*n<sub>d</sub>* – Número de dados

*P<sub>c</sub>* – Potência consumida [W]

*Pessoas* – Variável de entrada do CLF para Controlo do AVAC

*PotênciaEquipamento* – Variável de entrada do CLF para Controlo de Cargas

*PotênciaSaídaAVAC* – Variável de saída do CLF para Controlo do AVAC

*ρ<sub>ar</sub>* – Densidade do ar [kg/m<sup>3</sup>]

*R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>* – regras fuzzy

*R<sub>envidraçados</sub>* – Resistência térmica equivalente dos envidraçados [K.m<sup>2</sup>/W]

*R<sub>eq</sub>* – Resistência térmica total equivalente [K.m<sup>2</sup>/W]

*R<sub>paredes</sub>* – Resistência térmica equivalente das paredes [K.m<sup>2</sup>/W]

*r, s* – Elementos de uma RNA para cálculo da correlação

*TemperaturaInterior* – Variável de entrada do CLF para Controlo do AVAC [K]

*T<sub>espaço</sub>* – Temperatura atual do espaço [K]

*T<sub>exterior</sub>* – Temperatura no exterior do espaço [K]

*T<sub>final espaço</sub>* – Temperatura do espaço após considerada a libertação de calor por parte dos habitantes [°C]

*T<sub>final espaço</sub>* – Temperatura do espaço após considerada a libertação de calor por parte dos habitantes [°C]

*T<sub>habitantes</sub>* – Aumento de temperatura no espaço por influência dos habitantes

*T<sub>saída</sub>* – Temperatura de saída do ar do AVAC [K]

*telhado* – Inclinação do telhado [°]

*U* – Universo de discurso

*u* – Elemento do universo de discurso

*μ<sub>Ā</sub>, μ<sub>Ḃ</sub>, μ<sub>Ĉ</sub>* - funções de pertença nos conjuntos fuzzy “Ā”, “Ḃ” e “Ĉ” respetivamente

*μ<sub>F</sub>* - Função de pertença num conjunto genérico “F”

*x* – Variável fuzzy

*Y<sub>k</sub>* – Valor real

*Ŷ<sub>k</sub>* – Valor previsto

# Capítulo I

## 1 Introdução

**Resumo:**

*Neste capítulo apresenta-se a motivação em realizar um estudo e aplicação de um Sistema de Controlo Inteligente em Edifícios, os objetivos e a estrutura do trabalho.*

## 1.1 Motivação

A sociedade atual encontra-se em forte crescimento tecnológico, e estando este a acontecer a um ritmo cada vez mais acelerado, a tendência é que os consumos energéticos sejam cada vez maiores, uma vez que a energia elétrica é necessária para a grande maioria das atividades domésticas e industriais.

Os edifícios podem ser chamados “Smart-Buildings” quando equipados com tecnologias que os tornem eficientes e autónomos, não necessitando, de ninguém em tempo real a tomar decisões, tornando-os desta forma “edifícios inteligentes”.

Em termos de consumos energéticos, os sistemas de Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) são responsáveis por cerca de 50% do consumo verificado em edifícios [1], assim sendo, torna-se relevante trabalhar no aumento da eficiência energética e na poupança de energia destes equipamentos, para que sejam melhor aproveitados os recursos disponíveis.

No entanto, existem também algumas medidas de menor impacto energético que tornam relevantes quando feita uma análise global de redução do desperdício energético.

A implementação de fontes de energias renováveis bem como de sistemas de armazenamento permitem reduzir a quantidade de energia produzida a baixo custo que não é devidamente aproveitada.

A otimização dos consumos energéticos das habitações através da utilização de sistemas de controlo inteligentes proporciona uma redução de consumo sem esforço por parte dos utilizadores, sendo estes recompensados com um aumento do conforto e redução de custos.

Além de ser importante em termos económicos e de aproveitamento de recursos, é também importante a nível ambiental.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivos:

- Análise do perfil energético de uma habitação sem medidas de otimização energética;
- Análise de medidas que permitam aumentar a eficiência energética da habitação;
- Implementação e análise do impacto energético de sistemas de controlo inteligente para aumento da eficiência energética;
- Análise do impacto global da utilização do controlador desenvolvido.

## 1.3 Contributos

A implementação de um controlador inteligente que permite realizar a gestão eficiente de uma habitação em termos energéticos contribui para a diminuição da fatura energética, bem como para a redução da utilização de combustíveis fósseis.

A melhor distribuição da energia consumida à rede ao longo do dia permite que os picos de consumo sejam reduzidos facilitando ao distribuidor de energia elétrica uma melhor gestão de recursos.

## 1.4 Estrutura

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos.

O presente capítulo apresenta a motivação e a relevância do trabalho e os objetivos a que se propõe.

No Capítulo II são analisadas as tecnologias que existem atualmente e que vão ser utilizadas ao longo do desenvolvimento do controlador inteligente.

No Capítulo III são estudados perfis de carga dos equipamentos considerados na habitação e é traçado um diagrama de carga para uma habitação que não utilize tecnologias para aumentar a sua eficiência energética.

No Capítulo IV são introduzidos conceitos acerca de Redes Neurais Artificiais e Lógica *Fuzzy*, são estudados os seus modelos matemáticos e efetuada a sua implementação em controladores inteligentes que são responsáveis pelo controlo da habitação e aumento da sua eficiência energética. É feita uma análise comparativa dos custos antes e após implementação do controlador.

No capítulo V apresentam-se as conclusões relativas à implementação do controlador e é feita uma listagem das vantagens resultantes da sua implementação.

# Capítulo II

## 2 Estado de Arte

**Resumo:**

*Neste capítulo apresenta-se uma introdução aos conceitos a serem estudados, bem como algumas tecnologias utilizadas para realizar a otimização energética de uma habitação.*

## 2.1 Estado de Arte

O conceito “edifício inteligente” apareceu na segunda metade da década de 70 associado a qualquer edifício construído que tivesse em vista a eficiência energética [2].

Mais tarde nos anos 80 este conceito foi alterado, passando a ser menos geral, sendo apenas considerado um edifício inteligente aquele que poderia ser controlado através de um computador em casa [2].

Atualmente, um edifício inteligente define-se como uma estrutura que tem a capacidade de se ajustar às necessidades de quem o ocupa, necessitando para tal de tecnologia digital, microprocessadores, automação, domótica e soluções de melhoria de eficiência energética [3]

“Usar menos energia para obter o mesmo serviço”, é assim que se define eficiência energética. Este conceito nunca implica medidas de conservação de energia nem abdicação de serviços para redução da quantidade da energia gasta [4].

Antes de serem aplicadas medidas para o aumento da eficiência energética do espaço este deve ser classificado quanto à sua utilização, sendo que esta dependente de três fatores, ocupação e contexto de ocupação, sensibilidade ambiental e sensibilidade energética [5].

A ocupação e o contexto de ocupação definem a quantidade de pessoas e a atividade que estas desempenham dentro do local em questão. Considerem-se habitantes todos os indivíduos que estejam presentes no local em estudo, os animais domésticos ou outros não devem ser considerados nesta contabilização. A sensibilidade ambiental refere-se a fatores, como, a temperatura e outras variáveis a que uma determinada zona de um edifício está sujeita [5]. A sensibilidade energética é obtida pela contabilização e monitorização dos consumos de uma determinada zona ou espaço de um edifício, nomeadamente, os consumos referentes a [5]:

- Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado (AVAC)

- Iluminação
- Equipamento Informático
- Cargas Removíveis

As cargas removíveis são os equipamentos que podem ser desligados sem prejudicar os habitantes, tais como, monitores, candeeiros de secretária ou ventoinhas.

No que diz respeito às medidas a implementar para redução do desperdício energético e dos custos associados a este, as soluções mais comuns são as seguintes [2],[5-9]:

- Melhoramento do Isolamento térmico dos edifícios
- Hardware para sistemas de controlo
- Controlo de habitantes
- Controlo do AVAC
- Controlo de cargas
- Controlo da luminosidade e iluminação
- Utilização de Energias Renováveis
- Utilização de um sistema de Armazenamento de Energia
- Aplicações de programas de *Demand-side Management*

### **2.1.1 Melhoramento do isolamento térmico dos edifícios**

O isolamento térmico de um espaço é diretamente responsável pela influência de fatores externos na temperatura interior deste. Quando o isolamento térmico é de melhor qualidade, a temperatura exterior tem menor influência na temperatura interior, permitindo que esta seja mais facilmente controlável.

A capacidade de isolamento de um material é definida pelo seu coeficiente de transmissão de calor  $[W/m^2\text{°C}]$  ou pela resistência térmica  $[m^2\text{°C}/W]$ .

A resistência térmica é uma propriedade do material utilizado como isolamento e que caracteriza a sua oposição à influência da temperatura exterior ou outros fatores externos na temperatura interior.

O valor da resistência térmica equivalente que caracteriza um determinado espaço, pode ser obtido através dos seus aspetos construtivos, nomeadamente, o número de envidraçados e as suas características, a espessura e os materiais utilizados na construção das paredes, entre outros fatores e permitem estimar a temperatura interior a que fica o espaço quando sujeita a uma determinada temperatura exterior.

## **2.1.2 Hardware utilizado em sistemas de controlo**

Num edifício inteligente devem estar presentes alguns equipamentos que estarão interligados para formar um sistema de controlo. Deste sistema de controlo são parte integrante os seguintes equipamentos [2]:

- Sensores
- Atuadores
- Controladores
- Dispositivos de interface
- Contador Inteligente

Os sensores são responsáveis pela monitorização e pelo o envio de informação. Estes podem ter variadas funções, tais como, atividade dos habitantes, monitorização ambiental, saúde e bem-estar, no entanto no âmbito da eficiência energética enfase será dada aos sensores de deteção de presença.

Os atuadores como o nome indica realizam ações consoante as informações obtidas pelos sensores. Estes podem ser interruptores elétricos, relés, motores, entre outros.

Os controladores são responsáveis por controlar equipamentos baseados em regras programadas previamente. O controlo é feito automaticamente, cumprindo sempre as restrições estabelecidas.

Os dispositivos da interface permitem a comunicação entre o utilizador e o sistema de controlo.

Os contadores inteligentes garantem uma comunicação bilateral entre o consumidor e a companhia que fornece o serviço. Estes contadores podem ser utilizados para água, gás, eletricidade e calor, e permitem conhecer a pegada energética dos utilizadores de forma a possibilitar a interpretação dos gastos e das necessidades de consumo existentes.

### **2.1.3 Controlo de Habitantes**

Sendo os habitantes os principais intervenientes nas atividades que se passam no interior do local em estudo, é importante conhecer as suas necessidades e saber quando estão ou não presentes.

As atividades dos habitantes provocam libertação de calor para o espaço envolvente, sendo a quantidade de calor libertada dependente do tipo da ação que está a ser realizada [7].

Para conhecer a quantidade de habitantes podem ser utilizados métodos de calendarização, deteção ou previsão.

A calendarização é o método mais simples de aplicar, no entanto é o que pode apresentar uma maior hipótese de erro, visto que, a calendarização é feita com base no dia-a-dia dos habitantes, sendo que, se estes por algum motivo mudarem o seu comportamento os equipamentos entrarão em funcionamento de forma não fundamentada.

Esta solução está implementada em equipamentos como o controlador principal utilizado pela ABB numa das suas soluções técnicas, designada por KNX, fazendo a gestão dos equipamentos por ele controlados [8].

A detecção utiliza equipamentos como sensores para, em tempo real, dar informação da presença de habitantes. Existem vários tipos de sensores de presença, nomeadamente sensores passivos de infravermelhos, de micro-ondas ou os de dupla tecnologia, que são constituídos por ambos os referidos anteriormente [9]. Em [6], apresenta-se uma solução com um sensor que simultaneamente deteta entradas e saídas e a atividade junto à porta.

Os sensores têm algumas limitações de operação que podem incorrer em falsas presenças ou presenças não detetadas. Uma falsa presença dá-se quando o sensor deteta alguém no espaço que na verdade não está presente, uma presença não detetada acontece quando o sensor não deteta a presença de um ocupante no espaço [5]. Os sensores de dupla tecnologia conseguem reduzir este erro, visto que, ambos têm de ser acionados antes de enviarem informação para o controlador [9].

Em [5], é ainda apresentada uma outra solução que combina um sensor passivo de infravermelhos que em conjunto com uma lâmina magnética responsável por detetar abertura e fecho de portas, consegue também reduzir o erro associado, sendo que a detecção de habitantes depende da abertura de porta em conjunto com a detecção por infravermelhos.

A previsão é uma forma mais complexa de determinar quando os habitantes vão estar no local, sendo que este utiliza dados passados para prever algo que vai acontecer no futuro. Um dos métodos utilizados na previsão de acontecimentos são as Redes Neurais Artificiais (RNA), que tendo por base um conjunto de dados, conseguem aprender e determinar quando será a próxima entrada e quantos habitantes estarão no local. Relativamente à previsão coloca-se a questão de num determinado dia os habitantes decidirem não ir para casa como habitual e os gastos que incorrem de manter o sistema em funcionamento quando ninguém está presente. A previsão é, no entanto mais adequada para locais com grande número de frequências e para casos em que as entradas não são facilmente previstas pelos habitantes.

## 2.1.4 Controlo do AVAC

Apesar da evolução dos equipamentos de AVAC, este continua a ser o responsável por cerca de metade do consumo energético em edifícios [6], portanto, um controlo minucioso do AVAC é grandemente responsável por um aumento significativo da eficiência energética em edifícios [5],[6].

A maioria dos estudos realizados sobre os AVAC baseiam-se em modelos que têm como objetivo maximizar a qualidade dos dados referentes aos habitantes, isto é, estimar se existem habitantes, quantos são e o local que estão a utilizar, de modo a que a utilização deste recurso seja mais eficiente [10].

Sendo o AVAC o equipamento que permite influenciar de forma ativa a temperatura interior do local, deve ser introduzido um conceito que define a temperatura de conforto desejada no interior, que se define como temperatura de referência ou *Set-point*.

O *Set-Point* é definido de forma independente para os diferentes espaços e de acordo com as necessidades dos habitantes [5].

Note-se que os equipamentos de AVAC consomem mais energia quando necessitam de provocar maiores variações na temperatura do espaço, por esse motivo um dos objetivos de melhoria da eficiência energética e consequente redução de consumo deve ser a variação gradual e não abrupta da temperatura.

Existem comportamentos que podem aumentar a eficiência do AVAC e que podem ser contornados definindo restrições para que este só entre em funcionamento quando estas forem cumpridas.

Em [6] apresenta-se um comportamento que não é adequado:

“Quando o AVAC está em funcionamento, as portas e janelas não estão fechadas, ou não se fecharam imediatamente”

Este comportamento pode ser contornado implementando a seguinte restrição:

“Se as portas e as janelas estão fechadas, então o sistema de AVAC entra em funcionamento”

Em [5] o controlo do AVAC tem como entrada a ocupação do local, isto é, o equipamento é ligado ou não consoante existam habitantes na divisão, neste caso a mudança de temperatura poderá ser repentina. Estes dados são enviados para um sistema central que automaticamente muda o estado do AVAC de uma determinada zona para “ligado” ou “desligado” consoante a informação recebida.

Também em [5] refere-se que em casos mais complexos e como referido em 2.1.3 são utilizados métodos de previsão que associados a informação de ocupação em tempo real proveniente dos sensores, servem de entrada para o controlador do AVAC, neste caso o consumo de energia será menor, visto que, com previsão a temperatura pode ser ajustada gradualmente até à chegada dos habitantes.

A implementação destas soluções pode gerar reduções nos gastos energéticos de cerca de 30% quando aplicadas a um edifício [5].

## **2.1.5 Controlo de Cargas**

O controlo de cargas consiste em utilizar recursos que sejam capazes de ligar ou desligar cargas consoante as necessidades do utilizador, ou tendo como objetivo a poupança de energia.

As cargas a que se aplicam estes equipamentos são normalmente as cargas removíveis, tais como, telemóveis, computadores, tablets, entre outros equipamentos eletrónicos e eletrodomésticos [11].

Associado ao controlo destas cargas existe um lado humano que é bastante simples de aplicar. Este consiste apenas em desligar as cargas que não são necessárias ou ligar as que forem necessárias [12].

No passado os sistemas disponíveis utilizavam *modems* que recebiam informação e executavam ordens a par com um interruptor que era ativado ou desativado por uma unidade central de controlo. Estes equipamentos eram programados previamente para que realizassem as operações que o utilizador via como necessárias [13].

Mais recentemente apareceram equipamentos que são de mais fácil aplicação e cujo conceito é mais simples que o descrito anteriormente.

Marcas como *BOSS Controls* [14] ou *Eve Energy* [15] desenvolveram tomadas inteligentes capazes de detetar se um equipamento está em *standby*, isto é, se este tem energia a fluir passivamente. A esta energia denomina-se energia fantasma [11].

Estes equipamentos são capazes de realizar a monitorização das cargas e entregar ao utilizador um relatório de gastos e performance e podem ser controladas a partir de qualquer local através de aplicações para *Smart Phones* [16-18].

## **2.1.6 Controlo de luminosidade e iluminação**

A iluminação de um espaço pode ser efetuada de forma natural ou artificial, sendo que a primeira se refere à luz solar que entra no espaço através dos envidraçados, e a iluminação artificial à luz proveniente de lâmpadas.

Uma das maiores reduções no desperdício de energia foi alcançada quando as lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*) surgiram no mercado. Estas são capazes de provocar uma redução de consumo energético de aproximadamente 75% e uma duração que pode chegar a vinte e cinco vezes mais do que as lâmpadas incandescentes [17].

A gestão da iluminação é relevante uma vez que se o espaço a iluminar receber luz natural durante o dia e esta for suficiente para a atividade que está a ser desenvolvida, não será necessário o consumo de energia elétrica em iluminação artificial.

Uma das soluções mais utilizadas, mas que, no entanto, não é ótima, é a aplicação de reguladores manuais de iluminação. Estes reguladores manuais de iluminação permitem que o utilizador opte por mais ou menos iluminação no espaço manualmente [18]. Consequentemente, não é uma solução ótima, visto que, o utilizador não tem a capacidade de em tempo real, fazer o controlo da quantidade de energia que é necessária para manter o nível de luminosidade.

Por outro lado, podem ser utilizados sensores de luminosidade, que permitem o envio de informação precisa sobre as condições de luminosidade exteriores, que serão utilizadas para regulação da quantidade de luz artificial que será necessária para satisfazer as necessidades dos habitantes [5].

Associada à solução anterior podem ser utilizados os métodos de controlo de habitantes descritos em 2.1.3, de modo a que a iluminação nunca esteja ligada quando não existem habitantes no espaço.

Equipamentos mais recentes, permitem realizar a gestão de iluminação em conjunto com a domótica associada à abertura e fecho de estores, isto é, caso haja luz natural os estores são abertos de modo a não necessitar luz artificial [19].

## **2.1.7 Utilização de Energias Renováveis**

Em alternativa ao consumo de energia elétrica da rede, algumas habitações já têm à sua disposição o consumo de energia através de fontes renováveis.

A energia renovável normalmente presente nas habitações é a fotovoltaica, sendo esta produzida através da transformação de energia solar em elétrica. Existem vários tipos de painéis fotovoltaicos que se distinguem pela sua construção e pelos materiais utilizados, sendo que, cerca de 80% são de silício [20]. Os painéis fotovoltaicos podem ser [20],[21] de:

- Silício Monocristalino
- Silício Policristalino
- Película Fina
  - Silício Amorfo (a-Si)
  - Telureto de cádmio (CdTe)
  - Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIS/CIGS)
  - Orgânicos (OPV)

- Híbrido (HJT)

Os painéis monocristalinos são aqueles que têm maior rendimento e, portanto, que ocupam menos espaço para a mesma quantidade de energia produzida, no entanto, são os mais dispendiosos.

Quanto aos painéis de silício policristalino, são semelhantes aos anteriores, mudando apenas a forma como o material é fundido, o que torna os painéis mais baratos, no entanto reduz a sua eficiência.

Os painéis de película fina são constituídos por uma ou várias camadas finas de material fotovoltaico sobre um substrato, dentro destes existem os quatro tipos descritos anteriormente, apresentando eficiências variáveis.

Os painéis de silício amorfo são muito mais baratos que os anteriores e necessitam de 100 vezes menos silício que os cristalinos, no entanto a sua produção de energia é bastante reduzida.

O Telureto de cádmio permitiu apresentar soluções de painéis solares cuja relação entre custo e eficiência foi superior aos painéis de silício cristalino. Estes são utilizados em grandes campos solares, no entanto, são constituídos por cádmio que é um material tóxico.

No que diz respeito aos painéis de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio quando comparados com as outras soluções de película fina, são os que apresentam maior eficiência. Estes são também menos tóxicos do que a solução apresentada anteriormente, visto que, têm menor quantidade de Cádmio na sua constituição.

Os painéis orgânicos são constituídos por um polímero orgânico que é capaz de realizar a conversão de energia solar em elétrica, sem a utilização de silício. Como apresentam baixa eficiência, é necessária uma grande área de implementação para que produzam a mesma energia que as outras soluções apresentadas.

Por fim, os painéis híbridos, permitem a transformação de energia solar em energia elétrica, e também a transformação de energia solar em energia calorífica, sendo por este motivo os que apresentam aproveitamentos de energia bastante superiores em relação aos restantes [22],[23].

## 2.1.8 Armazenamento de Energia

O armazenamento de energia considerado neste trabalho consiste em armazenar energia que é produzida por painéis fotovoltaicos ou pela Rede de Energia Elétrica (REE). A energia produzida pelos painéis fotovoltaicos pode não ser utilizada na sua totalidade, no caso em que esta seja produzida nas horas em que os utilizadores não se encontrem na habitação, ou no caso em que as cargas em utilização não tenham consumos relevantes para utilizar toda a energia produzida.

A energia pode também ser armazenada em períodos em que a REE está a vender a um preço mais baixo e depois ser utilizada quando o tarifário é mais alto.

As soluções de armazenamento consistem normalmente na utilização de baterias, no entanto, apesar de este ser um grande potenciador do aumento da eficiência energética. Atualmente parte destas soluções são dispendiosas e implicam custos de manutenção.

Outro dos problemas que o armazenamento de energia tem vindo a apresentar é o tamanho do banco de baterias necessário para conseguir armazenar energia suficiente para satisfazer a procura do consumidor.

Quanto ao armazenamento dedicado apenas à energia fotovoltaica, a ABB apresenta soluções viáveis como o *REACT-3.6/4.6-TL* que já inclui o inversor e as baterias de íões de lítio, cujo ciclo de vida pode ir até 10 anos [24]. Recentemente foram desenvolvidas algumas soluções mais flexíveis para o armazenamento de energia, como as apresentadas pela *PowerVault* [25] e Tesla [26], que são capazes de armazenar tanto a energia proveniente dos painéis como da REE sem ocupar uma área considerável. Este é capaz de armazenar cerca de dois terços da energia que a maioria das pessoas utiliza num dia, ocupando o espaço equivalente a uma máquina de lavar loiça [27].

Com o desenvolvimento tecnológico dos automóveis a encaminhar-se cada vez mais para os veículos elétricos, muitas das habitações terão um espaço no qual o seu carregamento será feito.

Uma vez que o carregamento de veículos exige alguma potência da REE e tem tendência a ser efetuada durante a noite, então será vantajoso utilizar um sistema de armazenamento de energia, que faz o carregamento em horas de menor custo, de modo que, a energia possa ser utilizada quando for necessária.

Como referido anteriormente estas soluções são viáveis, no entanto, continuam a ser dispendiosas, sendo este um dos grandes focos do desenvolvimento do setor elétrico.

## **2.1.9 Demand-side Management**

Com o desenvolvimento tecnológico chegou-se a um ponto em que os utilizadores são parte ativa nas decisões energéticas das suas habitações.

As ações efetuadas do lado da procura designam-se *Demand-side management*.

Estas ações atualmente podem ser efetuadas no painel de controlo central instalado na habitação ou através de aplicações para *Smart Phones* como as utilizadas no controlo de cargas em [14],[15]. Uma das aplicações, a *Smart Home* foi desenvolvida pela ABB [28].

Estas aplicações fazem uma monitorização completa do que está a ser gerido automaticamente pelo controlador e produzem um relatório dos custos em tempo real. Estes relatórios permitem que o utilizador faça as mudanças que ache apropriadas nas decisões que estão a ser tomadas.

Uma das ações a adotar pelos utilizadores é a troca da fonte de energia que estão a utilizar a uma dada altura, esta é calendarizada previamente pelos fornecedores do serviço em conjunto com as necessidades dos utilizadores, de forma a que o aproveitamento de energia seja maximizado. No entanto, os utilizadores podem em tempo real realizar a transição entre a energia da rede, das energias renováveis e das baterias quando desejarem.

Caso estejam a ser utilizados métodos de previsão ou calendarização os utilizadores podem desligar os equipamentos que estariam prontos a funcionar,

caso decidam não cumprir o calendário que estipularam previamente, ou decidam quebrar a rotina.

Todos os equipamentos estão acessíveis numa aplicação para que possam ser ligados ou desligados segundo as necessidades dos utilizadores.

## **2.2 Sistemas Inteligentes para eficiência energética**

A evolução tecnológica resultou na necessidade primária de implementação e desenvolvimento de sistemas inteligentes que possibilitem reduzir a quantidade de recursos utilizados inapropriadamente, mas também de substituir os sistemas antigos por outros mais recentes e mais eficientes.

A capacidade e conhecimento dos utilizadores tem vindo a ser passada para sistemas capazes de fazer a gestão automática de equipamentos e tomada de decisões. Estes sistemas são cada vez mais autónomos e passíveis de ser aplicados nas mais variadas áreas.

Neste subcapítulo apresentam-se algumas das soluções propostas para implementação de sistemas inteligentes na área dos edifícios e seus equipamentos.

Em [29] apresentam-se variados métodos utilizados no controlo inteligente, no entanto, os mais utilizados são o Controlo Preditivo (CP) o Controlo com Lógica *Fuzzy* (CLF) e as RNA.

Em [30] apresentam-se aplicações em sistemas energéticos que recorrem às RNA. Fazem-se referência a sistemas de aquecimento a água e sistemas de AVAC. As RNA são utilizadas neste caso para previsão e avaliação de acontecimentos.

Em [31] introduz-se a afinação de controladores *fuzzy* utilizando Algoritmos Genéticos (AG) como forma de obtenção de funções de pertença ótimas, quando aplicados a sistemas de aumento de eficiência energética em edifícios.

Em [32] é utilizado o CLF na gestão do conforto térmico de um edifício, recorrendo a ferramentas disponíveis no MATLAB e com objetivo de aumento da eficiência energética.

Em [33] apresenta-se uma solução que utiliza lógica fuzzy como substituição a um controlador Proporcional Integral Derivativo (PID) quando aplicado a um sistema de AVAC e é calculada a redução de custos associada. Em [34] comparam-se os resultados de aplicações em edifícios de sistemas de AVAC com controladores PID e CLF.

Em [35] é estudada uma solução que recorre ao CLF para estudo de humidade e temperatura associado a um sistema de AVAC com o objetivo de minimizar os custos associados. Em [36] é apresentada a modelização de um sistema de AVAC que recorre ao CLF para regulação da velocidade do compressor.

Em [37] recorre-se às RNA com o objetivo de prever os consumos energéticos de um edifício afim de saber a influência de aspetos construtivos, de ocupação, localização e ventilação. Utiliza-se CLF para fazer a correção destes parâmetros de modo a otimizar a eficiência energética.

Em [38] é apresentado um estudo a um edifício comercial e são desenvolvidas estratégias com recurso à utilização de CLF para gestão de recursos fotovoltaicos e armazenamento de energia.

Em [39] é desenvolvida uma RNA com objetivo de prever o consumo energético de um edifício e recurso à lógica *fuzzy* para correção do erro associado através do processamento das saídas da RNA.

Em [40] é apresentada uma aplicação que recorre ao CLF para controlo da potência entregue a uma unidade de armazenamento de energia quando esta está em carregamento.

As soluções apresentadas são apenas exemplos de algumas aplicações na área, estas demonstram efetivamente que o CLF, RNA e CP são uma realidade e apresentam resultados significativos na procura da otimização energética em edifícios.

## 2.3 Conclusão

As soluções apresentadas em 2.2 são apropriadas para o estudo apresentado neste trabalho, no entanto, é interessante agregar duas das soluções mais utilizadas, as RNA e o CLF. O desenvolvimento de um controlador inteligente tem como objetivos proporcionar conforto aos habitantes, sem nunca esquecer que os recursos utilizados são finitos, tornando-se vital a sua otimização.

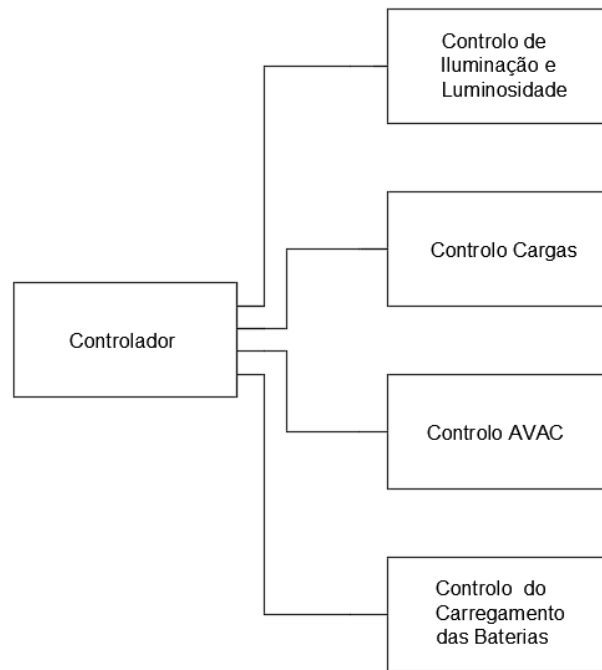
O controlador tem em conta as exigências energéticas dos habitantes, sendo o seu modelo responsável pela gestão dos equipamentos e minimização dos custos com energia elétrica sem nunca abdicar de serviços.

O modelo que se apresenta neste trabalho utiliza RNA e CLF para fazer previsão de temperatura, gestão automática de equipamentos, bem como gestão entre o consumo de energias renováveis e o armazenamento de energia.

Estas duas ferramentas, RNA e CLF, estão disponíveis nas *toolboxes* “fuzzy” e “nftool” do software MATLAB e serão utilizadas a par com uma terceira *toolbox* designada “*Thermal Model of a House*” que será responsável pela simulação dos parâmetros da habitação em estudo.

Esta última *toolbox* permite modelizar o comportamento térmico da habitação, através do cálculo da resistência equivalente do espaço em estudo, que posteriormente será utilizada na equação dinâmica do sistema que determina a temperatura interior quando sujeita a uma temperatura exterior ou outra perturbação térmica.

O controlador será dividido em subsistemas de controlo responsáveis pela eficiência energética de diferentes sistemas que constituem a habitação, como apresentado na Figura 1.



*Figura 1- Esquema do Controlador*

A implementação deste modelo tem em vista a redução de gastos energéticos, mas medidas associadas ao conceito de eficiência energética.



# Capítulo III

## 3 Caracterização do diagrama de carga da habitação

**Resumo:**

*Neste capítulo apresentam-se as características construtivas da habitação e equipamentos elétricos utilizados.*

*São introduzidos conceitos de perfil e diagrama de carga, bem como construção deste.*

### 3.1 Caracterização da habitação e equipamentos

A habitação em estudo é um T2 com 100 m<sup>2</sup>, com um pé direito de 2,5 m, constituída por dois quartos, uma sala de estar, uma cozinha e uma casa de banho. Esta habitação possui uma garagem, onde será efetuado o carregamento do veículo elétrico.

Relativamente aos aspetos construtivos considera-se que existe uma área de envidraçado de 6 m<sup>2</sup> e que os restantes materiais de isolamento exterior são definidos pela resistência equivalente indicada na *toolbox* do MATLAB.

Para proceder à análise dos consumos energéticos de uma habitação é necessário caracterizar as potências dos equipamentos elétricos que nela são utilizados.

A Tabela 1 apresenta os equipamentos separados pelo local de utilização e a sua potência nominal, caso seja conhecida, senão considera-se a sua potência média.

Tabela 1- Caracterização dos equipamentos da Habitação

Divisão	Equipamento	Potência [W]
Quarto 1	Candeeiro 1	40
	Candeeiro 2	40
	Candeeiro de Teto	100
	Televisão	80
	3 Tomadas Usos Diversos	-
	Computador	120
Quarto 2	Candeeiro 1	40
	Candeeiro 2	40
	Candeeiro de Teto	100
	Televisão	80
	3 Tomadas Usos Diversos	-
	Computador	120
Sala de Estar	Candeeiro 1	40
	Candeeiro de Teto (5x)	5x40
	Televisão	80
	Sistema de Som	10
	Equipamento TV cabo	Irrelevante
	6 Tomadas de Usos Diversos	-
Cozinha	Fogão	Irrelevante
	Frigorífico	200
	Máquina de Lavar Roupa	2000
	Máquina de Secar Roupa	3200
	Máquina de Lavar Louça	2000
	Lâmpada Fluorescente	36
	Equipamentos Diversos	-
	6 Tomadas Usos Diversos	-
Hall/Corredor	Candeeiro Teto (3x)	3x25
	Equipamento Internet	5
	Telefone	Irrelevante
Casa de Banho	Candeeiro de Teto	75
	Tomada de Usos Diversos	-
Garagem	Lâmpada Fluorescente	58
	Tomada carregamento Veículo Elétrico	-

Na elaboração do perfil de carga foram adotadas as seguintes considerações:

Considera-se que nas tomadas de usos diversos são ligados equipamentos, tais como, telemóveis, computadores entre outros eletrodomésticos, bem como outros equipamentos que exijam carregamento.

A iluminação na Sala de Estar é considerada ativa entre as 18h e as 24h, sendo que nas restantes divisões será utilizada uma média de 2h por dia.

Uma vez que as calendarizações de consumo foram consideradas para cenários de uma hora de utilização, a iluminação referente à garagem foi considerada durante uma hora em que os utilizadores cheguem à habitação,

depois do trabalho. No entanto e apesar deste consumo estar concentrado neste período de uma hora, está contemplada a utilização da iluminação à meia noite quando se inicia o carregamento do veículo elétrico e de manhã quando os utilizadores saem da habitação.

Quanto ao AVAC, considera-se que este está ligado durante seis horas, entre as 18h e as 24h.

Toda a calendarização referente ao modelo não otimizado encontra-se no Anexo 1.1.

### **3.2 Perfis e Diagrama de Carga**

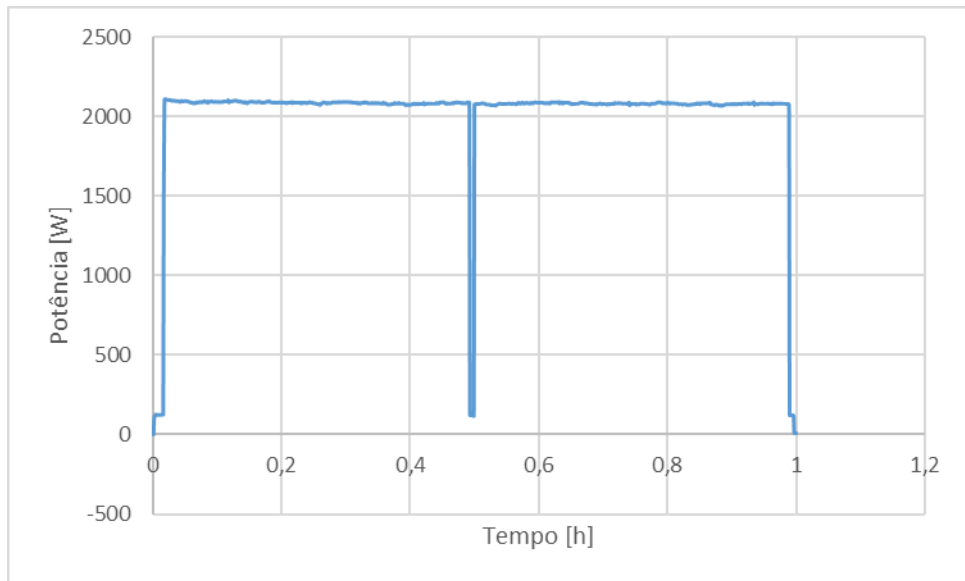
Tendo em conta os equipamentos que estão na habitação e as suas potências, é necessário determinar os seus consumos instantâneos para possibilitar traçar o perfil de carga.

Os perfis de carga têm em conta o consumo em funcionamento normal e em *standby*, correspondente à energia fantasma.

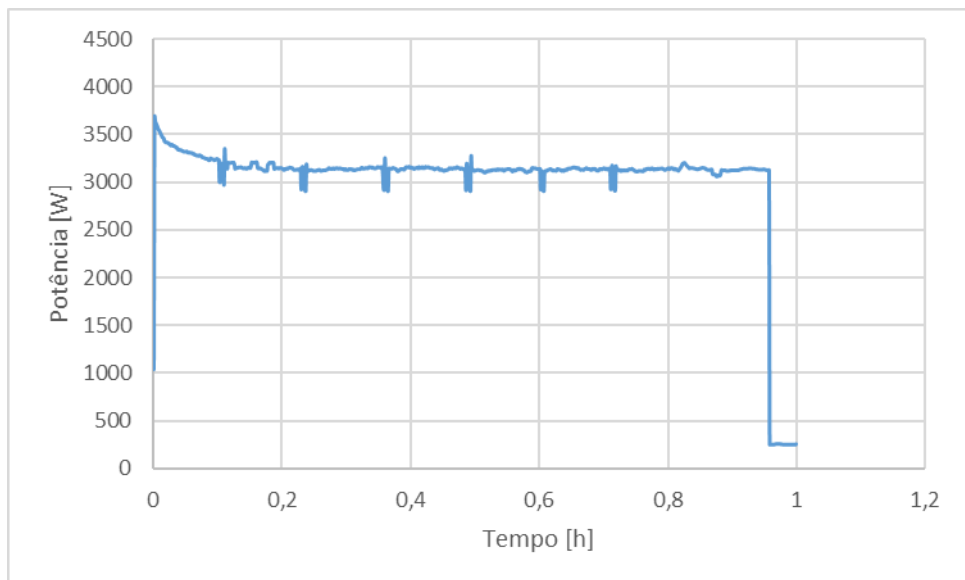
Os perfis de funcionamento considerados que caracterizam os equipamentos foram obtidos em [41].

A cada hora do perfil de carga fez corresponder-se mil pontos para que fosse possível manter as características do perfil sem perda de informação. De referir, que em [41] para a caracterização dos perfis de carga eram por vezes utilizados mais de três mil dados para uma hora.

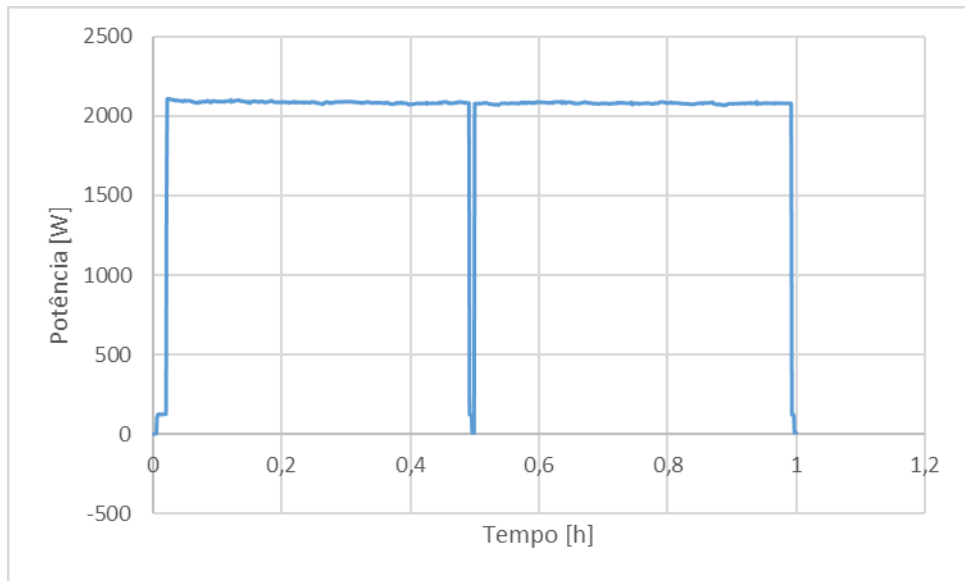
Nas Figuras 2 a 7 apresentam-se os perfis de carga dos equipamentos utilizados:



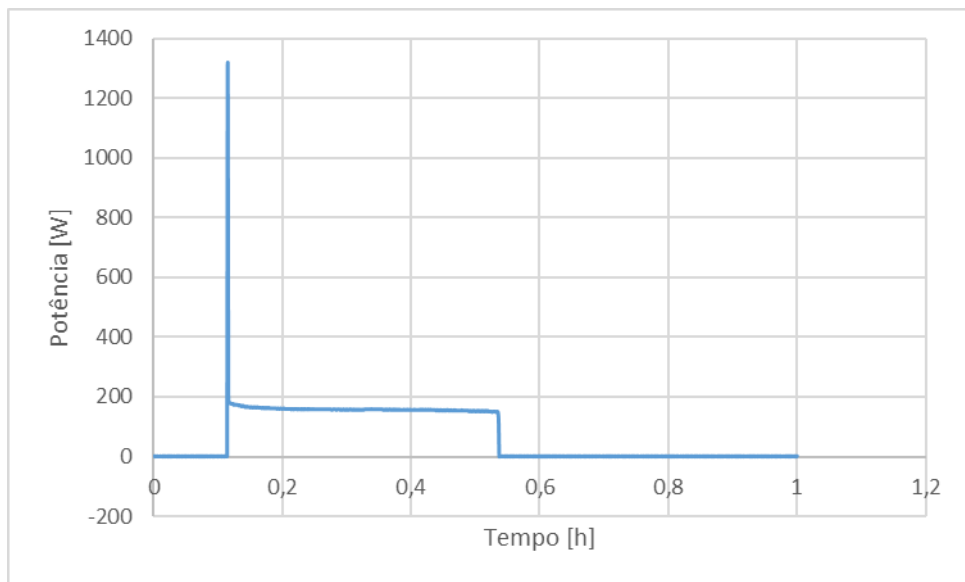
*Figura 2- Perfil de carga (Máquina de Lavar Louça)*



*Figura 3- Perfil de carga (Máquina de Secar Roupa)*



*Figura 4- Perfil de carga (Máquina de Lavar Roupa)*



*Figura 5- Perfil de carga (Frigorífico)*

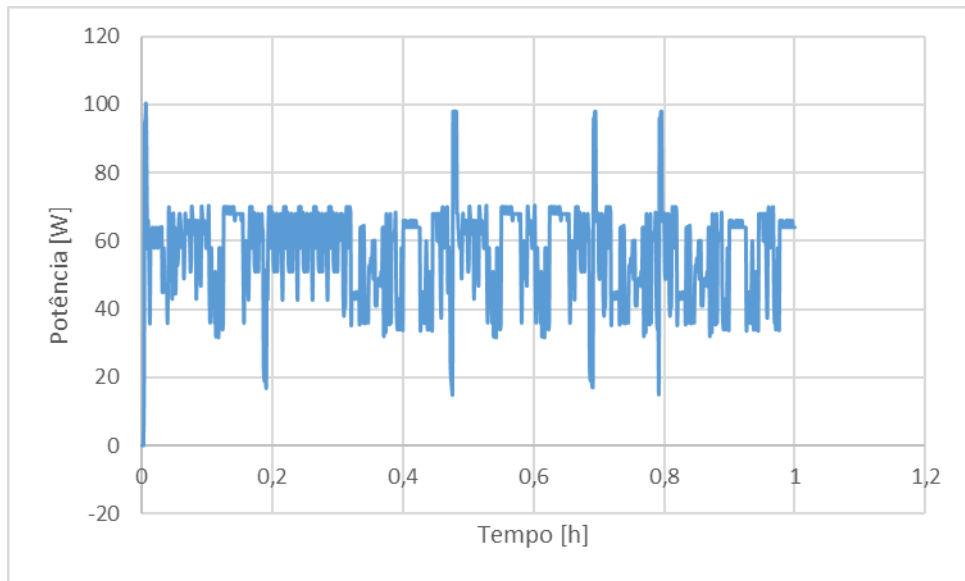


Figura 6- Perfil de carga (Televisão LCD)

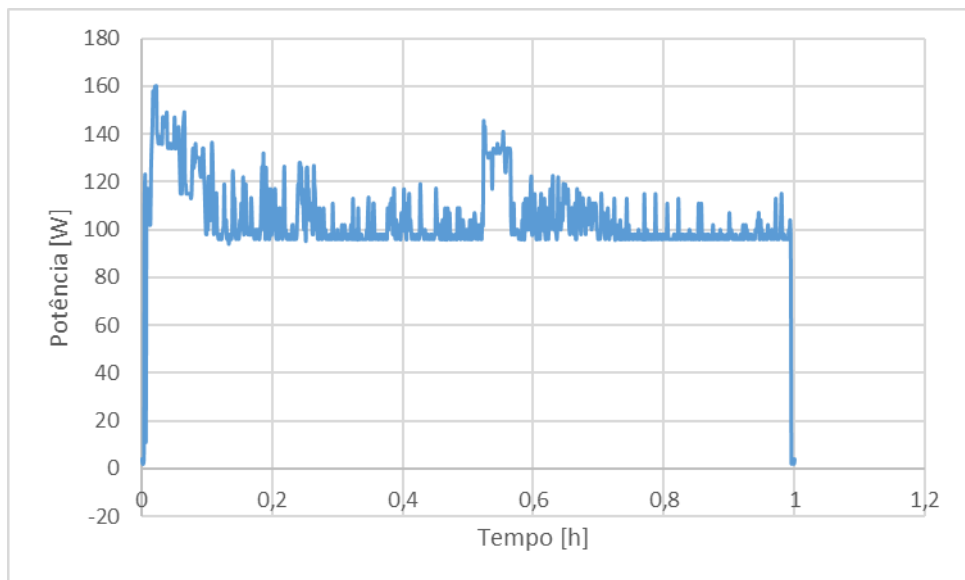


Figura 7- Perfil de carga (Computador)

Os perfis de funcionamento apresentados são referentes a equipamentos escolhidos para a habitação considerada, sendo que equipamentos do mesmo tipo podem ter comportamentos diferentes, caso sejam de potências ou de fornecedores distintos.

No caso de lâmpadas e outros equipamentos de baixa potência, os consumos são aproximadamente constantes não variando significativamente ao longo do tempo como se pode verificar nas Figuras 8 e 9:

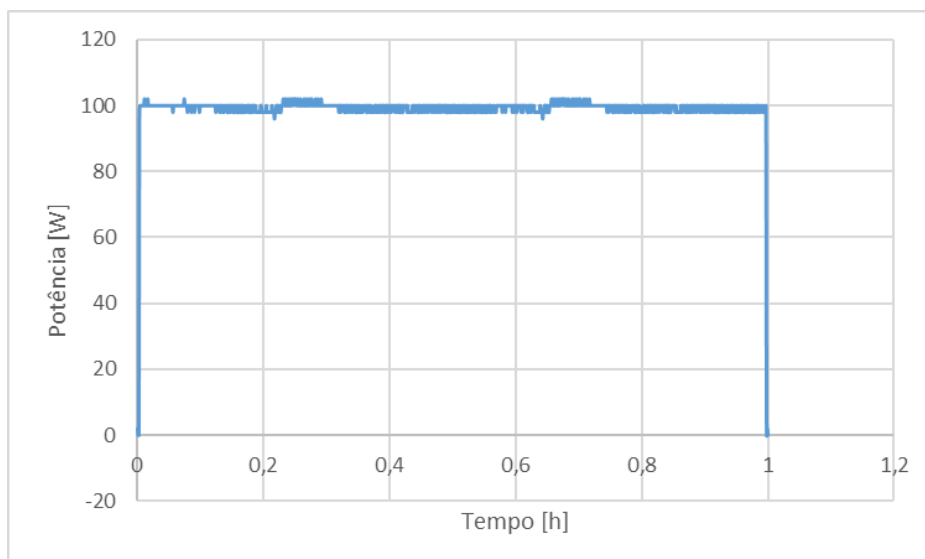


Figura 8- Perfil de carga (Lâmpada de 100W)

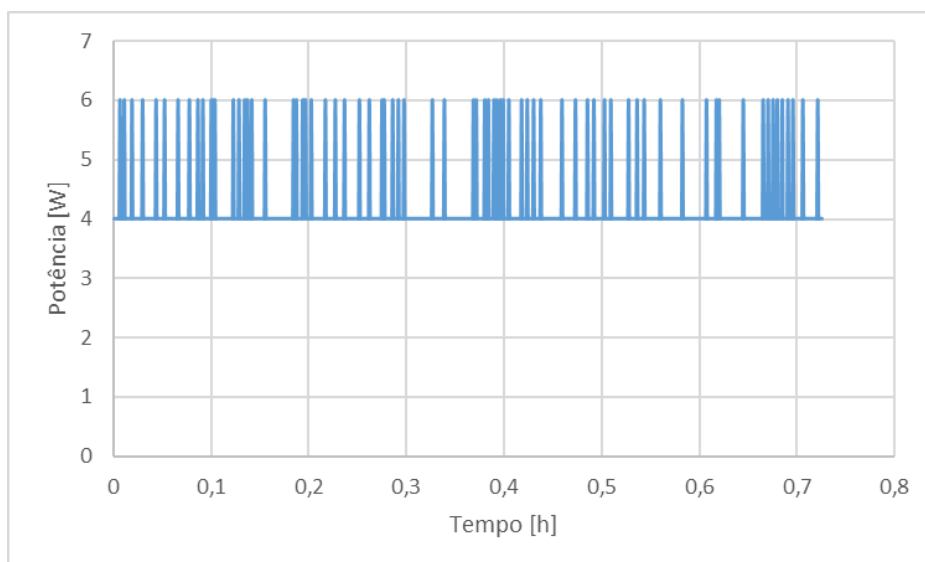


Figura 9- Perfil de carga de equipamento de baixa potência (Router)

O veículo elétrico considerado [42] possui uma bateria de 24kW tendo sido considerado um ciclo de carregamento lento de 8 horas, a 3000 Wh.

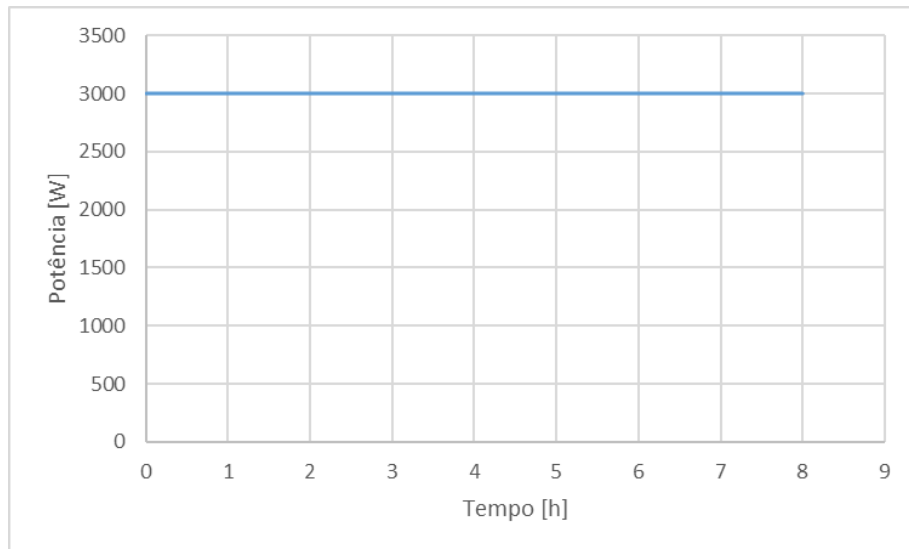


Figura 10- Ciclo de Carregamento do Veículo Elétrico (24kW)

Dado que não foi possível obter um perfil de carga correspondente ao funcionamento de um equipamento de climatização utilizou-se o perfil do AVAC da *toolbox* “Thermal Model of a House” disponível no MATLAB [43]. Esta *toolbox* permite obter o consumo energético para manter a temperatura em torno do *Set-Point* (20 °C), considerando todas as características construtivas do espaço. Para um perfil de utilização entre as 18h e as 24h e considerando uma temperatura exterior de 10 °C com uma variação máxima de 2,5 °C e uma temperatura interior inicial de 15 °C, obteve-se o perfil de carga apresentado na Figura 11:

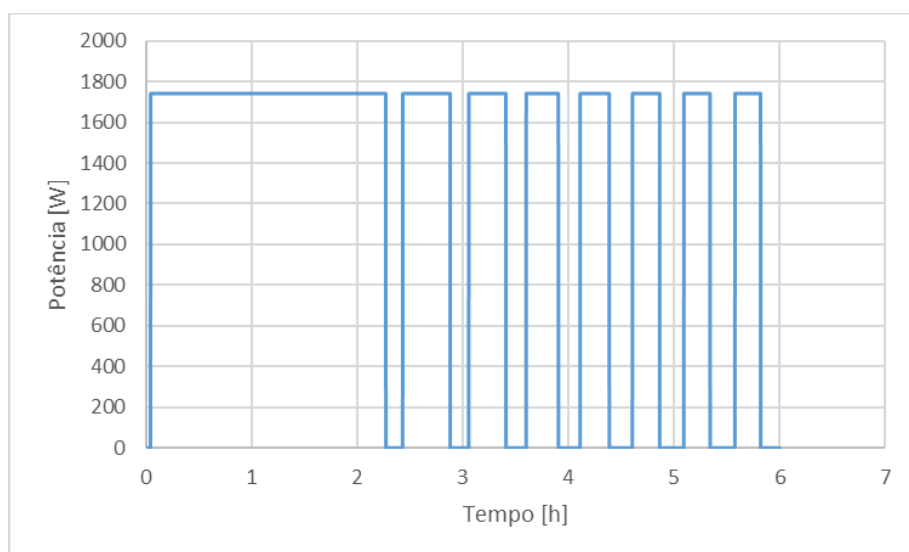


Figura 11 - Perfil de carga do AVAC

As Figuras 2 a 11 representam os perfis individuais de cada um dos equipamentos, sendo o diagrama de carga da habitação obtido após a distribuição horária das cargas ao longo do dia.

A distribuição horária dos equipamentos teve em conta que nesta habitação é utilizada tarifa bi-horária que permite uma redução significativa do preço da energia nas horas de vazio. Na Figura 12 considera-se o ciclo semanal com hora de inverno.

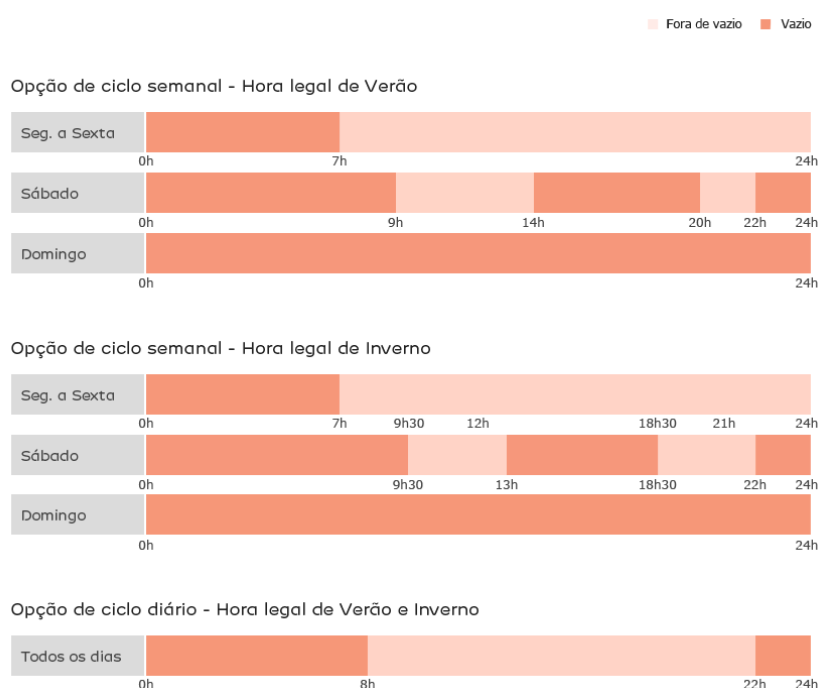
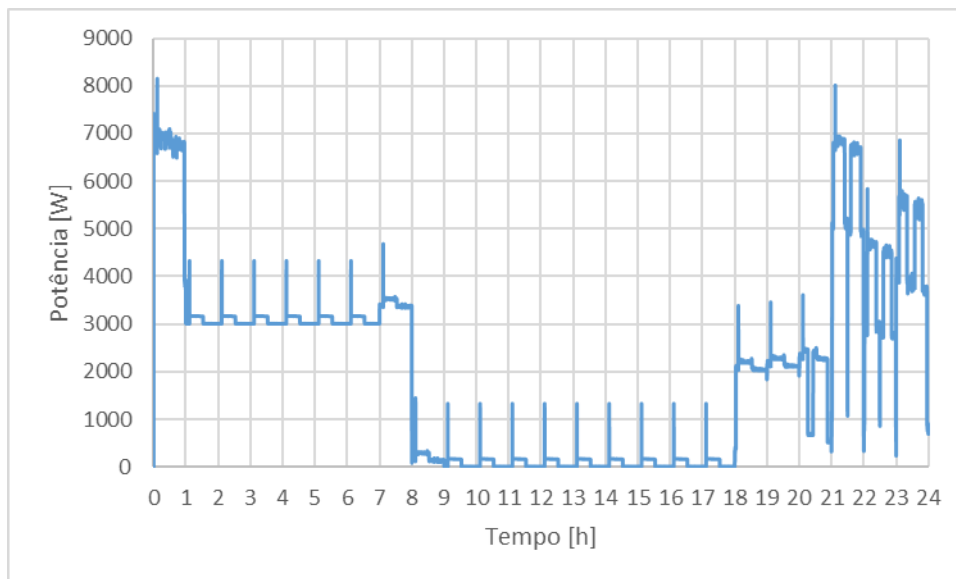


Figura 12 - Tarifa bi-horária [44]

O diagrama de carga apresentado na Figura 13, representa um dia de semana de inverno em que os habitantes apenas se encontram em casa entre as 18h e as 9h, sendo que a sua atividade termina às 01:00h e recomeça às 7h.



*Figura 13- Diagrama de Carga para 1 dia de Inverno*

Como se pode verificar no diagrama de carga da Figura 13, os picos de consumo situam-se entre as 18 h e as 24 h, sendo que o máximo de 8 kW ocorre às 24 h. Este cálculo é efetuado consultando o Anexo 1.1 que indica a calendarização horária dos equipamentos tendo em conta os perfis de consumo das Figuras 2 a 11. Estes picos de consumo implicam que seja contratada uma potência mínima de 10,35 kVA.

É bem notório que toda a energia é consumida quando os utilizadores estão na habitação, sendo que os 3000 W do veículo elétrico serão consumidos durante a noite. Uma das medidas de melhorias da eficiência energética e consequente redução do consumo consiste em distribuir estes consumos ao longo do dia por forma a reduzir o pico de consumo, possibilitando uma redução da potência contratada.

Esta redução é relevante pois permite diminuir os custos da fatura energética, uma vez que, tanto o custo da energia por unidade de potência como a parcela fixa aumentam de acordo com o aumento da potência contratada ao fornecedor. Estes valores são regulados pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE).

Tabela 2- Preço de Energia ERSE (Parcela Fixa)

Parcela Fixa		
Tarifa	Potência Contratada [kVA]	Preço [€/mês]
Tarifa simples, bi-horária e tri-horária	6,9	9,32
	10,35	13,71

Tabela 3- Preço de Energia ERSE (Parcela Variável)

Parcela Variável			
Tarifa	Potência Contratada [kVA]	Tipo de Hora	Preço [€/kWh]
Tarifa Simples	6,9	-	0,1652
	10,35	-	0,1659
Tarifa bi-horária	6,9	Fora de Vazio	0,1942
		Vazio	0,1014
	10,35	Fora de Vazio	0,1981
		Vazio	0,1023
Tarifa tri-horária	6,9	Ponta	0,2207
		Cheia	0,1737
		Vazio	0,1014
	10,35	Ponta	0,2247
		Cheia	0,1768
		Vazio	0,1023

### 3.3 Conclusão

Tendo em conta os dados apresentados nas Tabelas 2 e 3 é notório que a fatura energética é proporcional à potência contratada pelos habitantes. Então, para obter uma redução significativa no custo de energia elétrica, a implementação do controlador tem como um dos objetivos principais reduzir a potência contratada para 6,9 kVA.

Esta redução passa por uma melhor distribuição do consumo de energia ao longo do dia, fazendo o alisamento do diagrama de carga. Um diagrama de carga mais uniforme é benéfico não só para os habitantes, visto que, proporciona picos de consumo mais baixos para a REE.

A REE beneficia com estas medidas, visto que, se todos os utilizadores tiverem diagramas de carga mais uniformes e com consumos mais baixos ao longo do dia, a quantidade de energia a disponibilizar num determinado instante da ponta será menor.



# Capítulo IV

## 4 Análise da implementação das soluções propostas

**Resumo:**

*Neste capítulo apresenta-se o estudo das soluções propostas e a análise do seu impacto no diagrama de carga e nos custos associados à utilização de equipamentos elétricos na habitação.*

## 4.1 Introdução

A redução dos custos de energia elétrica de uma habitação passa não só pela aplicação de soluções que otimizem o seu diagrama de carga, mas também por algumas soluções simples de menor impacto que quando tidas em conta serão relevantes na redução de custos.

As medidas a implementar serão divididas em dois grupos estruturados de acordo com o seu impacto energético:

Medidas de menor impacto energético

- Iluminação;
- Luminosidade;
- Controlo de Cargas.

Medidas de maior impacto energético

- AVAC;
- Energias Renováveis;
- Armazenamento de Energia.

Todas estas medidas estarão interligadas a um sistema inteligente de controlo para que todas as operações possam ser realizadas de forma autónoma e automática.

Para implementação deste sistema de controlo são utilizadas três *toolboxes* disponíveis no MATLAB:

- “*nftool*” – utilizada para previsão através de RNA;
- “*fuzzy*” – utilizada para o controlo com Lógica Fuzzy;
- “*Thermal Model of a House*” – utilizado para implementação do modelo térmico da habitação.

### 4.1.1 Redes Neurais Artificiais

As RNA têm a capacidade de prever uma determinada ocorrência através de um histórico da relação existente entre os dados de entrada e de saída.

As RNA podem ser do tipo *feedforward*, isto é, são redes diretas (Figura 14) ou *feedback*, que são RNA recorrentes ou com retroação de dados (Figura 15).

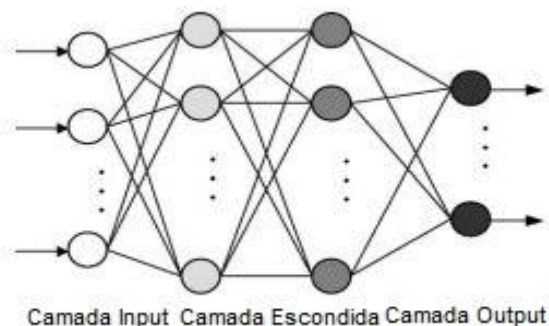


Figura 14- Esquema de Rede Neuronal em Feedforward [45]

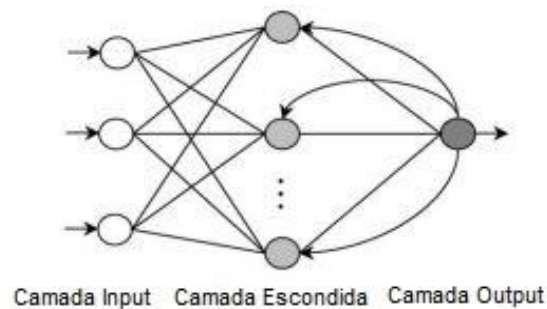


Figura 15- Esquema de Rede Neuronal em Feedback [45]

As RNA do tipo *feedforward* consistem em grupos de neurónios ligados entre si por elos de ligação, formando diferentes camadas. Estas RNA têm o seu ciclo de aprendizagem dividido em três fases.

- Fase de Treino – fase onde a RNA relaciona as entradas e saídas, de forma a ser capaz de prever um acontecimento. Os dados são

testados vezes indeterminadas até que os pesos das ligações sejam determinados.

- Fase de Validação – nesta fase é testada a performance da RNA de forma a garantir que não exista perda de generalização, visto que, em caso de perda de generalização os dados de saída já não serão os mais corretos, tendo a RNA decorado a relação entre a entrada e a saída. Para obviar esta situação a RNA deve ser treinada novamente com um número diferente de neurónios.
- Fase de Teste – nesta fase são fornecidos dados de entrada conhecidos à RNA e que não foram utilizados na fase de treino e é analisado o erro obtido nos dados de saída em comparação com aqueles que seriam expectáveis.

A arquitetura da RNA do tipo *feedback* contém pelo menos uma ligação em retroação, daí que sejam consideradas redes dinâmicas, ao contrário das primeiras apresentadas, que são consideradas estáticas [45].

A presença das retroações é bastante significativa no tempo de treino da rede e na qualidade deste. A quantidade de dados fornecidos não precisa de ser tão grande como nas redes do tipo *feedforward*, no entanto, as redes do tipo *feedback* têm tendência a mostrar instabilidade [45].

Como a instabilidade destas RNA é difícil de ultrapassar, as redes estáticas são as mais utilizadas apesar de serem menos precisas.

Neste trabalho é utilizada uma RNA para previsão da temperatura no exterior da habitação para aumentar a eficiência do sistema de controlo de AVAC.

#### **4.1.2 Controlo de Sistemas com Lógica *Fuzzy***

O conceito de lógica *fuzzy* foi introduzido com intenção de solucionar problemas reais que podem ser considerados incertos ou vagos. Ao carácter de

incerteza apresentado por acontecimentos, cuja dificuldade de classificação seja uma realidade, dá-se o nome de carácter *fuzzy*. [46]

A lógica *fuzzy* é utilizada para o controlo de variados sistemas [49-51], distintos dos estudados neste trabalho, tais como, sistemas automáticos de controlo de comboios, operação automática de guias, controlo de elevadores, controlo de reatores nucleares e controlo de transmissão de automóveis.

O controlo *fuzzy* exige a implementação de conjuntos que são caracterizados pela generalização do conceito clássico de conjunto. Esta generalização permite incorporar nestes conjuntos o carácter *fuzzy*. Como afirmado em [49], a lógica *fuzzy* permite encarar de forma natural os problemas em que a fonte de imprecisão é a ausência de um critério bem definido para a pertença de uma classe.

Apesar da teoria dos conjuntos *fuzzy* ser utilizada na resolução de problemáticas caracterizadas por fenómenos vagos, esta permite que o estudo destes problemas seja feito de forma precisa e rigorosa.

O CLF é caracterizado pela sequência de acontecimentos apresentados na Figura 16.

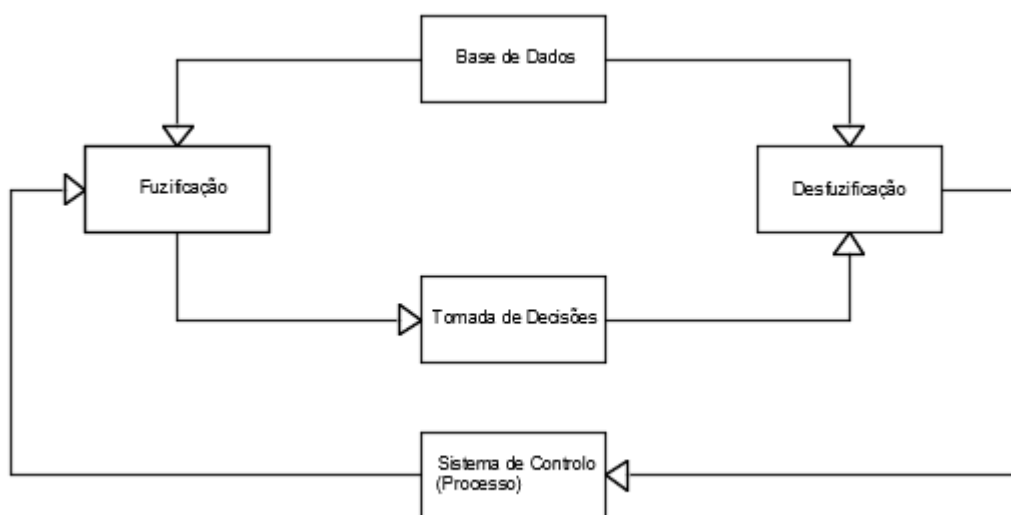


Figura 16- Esquema de Controlo com Lógica Fuzzy [47]

A etapa de fuzificação tem como objetivo realizar a conversão das variáveis de entrada em valores linguísticos de forma a poderem ser interpretados pelo algoritmo de inferência. [47].

A base de dados é onde está armazenado o conhecimento do programador na forma de regras linguísticas, para atingir os objetivos de controlo.

A etapa de tomada de decisões faz uma simulação das decisões tomadas semelhante aos seres humanos e vai inferir as ações do controlo *fuzzy*, utilizando a implicação *fuzzy* e as regras de inferência.

A etapa de desfuzificação é responsável por converter as variáveis de saída em valores numéricos para que possam ser normalizados e entregues ao Sistema de Controlo que os utiliza na forma de ações [47].

O controlo utilizando lógica *fuzzy* caracteriza-se pela utilização de um conjunto de regras linguísticas relacionados através de conceitos de implicação, isto é [47]:

“Se A e B se verificam, então C acontece.”

Este método de controlo é bastante útil, visto que, utiliza uma forma de quantificação mais simples para a maioria dos utilizadores, no entanto, um sistema de CLF exige que as regras e as variáveis sejam implementadas por um utilizador com conhecimento de causa, caso contrário os resultados poderão não apresentar a precisão que se pretende.

O CLF necessita que sejam definidos domínios que permitem enquadrar as variáveis utilizadas no estabelecimento das regras de controlo, que podem ser discretos ou contínuos. Ao domínio dá-se o nome de universo de discurso (U), em que “u” representa cada elemento deste universo.

No universo de discurso são definidas funções de pertença, estas permitem quantificar linguisticamente as variáveis e definir um conjunto de regras que tem por base as variáveis linguísticas, sobre as quais se deve reger o sistema de controlo.

De forma a aplicar a teoria dos conjuntos *fuzzy* é necessário ter em conta algumas definições básicas sobre a designação dos conjuntos.

Cada um dos elementos pertencentes a um conjunto *fuzzy* tem um grau de pertença nesse conjunto, para que possa ser efetuada uma transição gradual entre o “falso” e o “verdadeiro”. O grau de pertença de cada elemento varia entre [0;1].

Se  $X$  é um conjunto de elementos designados por  $x$ , então um conjunto *fuzzy*  $\tilde{A}$  em  $X$  é um conjunto de pares ordenados dado por:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\} \quad (1)$$

Onde  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  é designada por uma função de pertença de  $x$  em  $\tilde{A}$ .

Os conjuntos *fuzzy* podem ser representados de formas distintas:

- Como um conjunto de pares ordenados, onde o primeiro valor representa o elemento  $x$  e o segundo o valor da função de pertença.
- Apenas pela função de pertença
- Como um somatório, caso o seu domínio seja discreto

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \quad (2)$$

- Como um integral, caso o seu domínio seja contínuo

$$\tilde{A} = \int_x \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \quad (3)$$

Em [46], apresenta-se a caracterização de uma variável linguística, bem como um exemplo que caracteriza a variável idade.

Uma variável linguística é caracterizada por cinco parâmetros ( $x$ ,  $T(x)$ ,  $U$ ,  $G$ ,  $\tilde{S}$ ). Onde  $x$  é o nome da variável,  $T(x)$  o conjunto de valores linguísticos,  $U$  o universo de discurso da variável,  $G$  a regra sintática para gerar os termos da variável e  $\tilde{S}$  a regra semântica para associar a cada termo o seu valor.

Uma adaptação do exemplo apresentado aplicada a uma das variáveis de entrada utilizadas no controlo do AVAC é:

$x$  – Temperatura;

$T(x)$  – {muito frio, moderado, muito quente}

$U$  – [0;40]

Um exemplo de uma regra sintática para gerar os termos de uma variável é  $G =$  ‘não muito frio’.

Uma possível regra semântica para caracterizar o termo ‘muito quente’ é dada por:

$$\tilde{S}(\text{muito quente}) = \{x, \mu_{\text{muito quente}}(x)\} |_{x \in [0;40]} \quad (4)$$

Onde a função de pertença ‘quente’ é dada por:

$$\mu_{\text{muito quente}}(x) = \begin{cases} 0 & , se x \in [0; 20,5] \\ 2x-41 & , se x \in ]20,5; 21[ \\ 1 & , se x \in [21; 40] \end{cases}$$

No CLF é necessário ter em atenção o algoritmo de inferência utilizado. Existem dois algoritmos de inferência denominados Mamdani e Sugeno. O primeiro algoritmo é computacionalmente mais exigente e a saída é dada por uma relação linguística de fácil perceção para o utilizador, tal como:

“Se A e B então C”.

O segundo algoritmo de inferência é computacionalmente menos exigente, no entanto a relação entre entrada e saída é dada por uma função das variáveis de entrada:

“Se A e B então  $f(A,B)$ ”.

Este algoritmo é por este motivo mais apropriado para resolução de problemas de análise matemática.

O controlo com lógica fuzzy pode utilizar diversos métodos e algoritmos de inferência. Neste trabalho todos os controladores *fuzzy* implementados têm as seguintes características:

- Algoritmo de inferência – Mamdani;
- Método de “desfuzificação” – Centro de Área (COA);
- Método de agregação – *max*;
- Método de implicação – *min*;
- Método “And” – *min*;
- Método “Or” – *max*.

O algoritmo de inferência Mamdani é conhecido como método min-max, visto que, este consiste em utilizar métodos de mínimo ou de máximo de área consoante o operador *fuzzy* utilizado. Os operados *fuzzy* podem ser “e” e “ou”.

Considerem-se  $\mu_{\bar{A}}$ ,  $\mu_{\bar{B}}$  e  $\mu_{\bar{C}}$  três funções de pertença.

No caso do operador “ou”, que representa uma união, é utilizado o método de máximo:

$$\mu_{\bar{A}} \cup \mu_{\bar{B}}(x) = \max\{\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)\} \quad (5)$$

O operador “e”, que representa uma interseção, utiliza o método de mínimo:

$$\mu_{\bar{A}} \cap \mu_{\bar{B}}(x) = \min\{\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)\} \quad (6)$$

Na Figura 17 apresenta-se um exemplo para cada um destes operadores e a forma como deve ser definido o conjunto após a aplicação da expressão relativa ao operador respetivo.

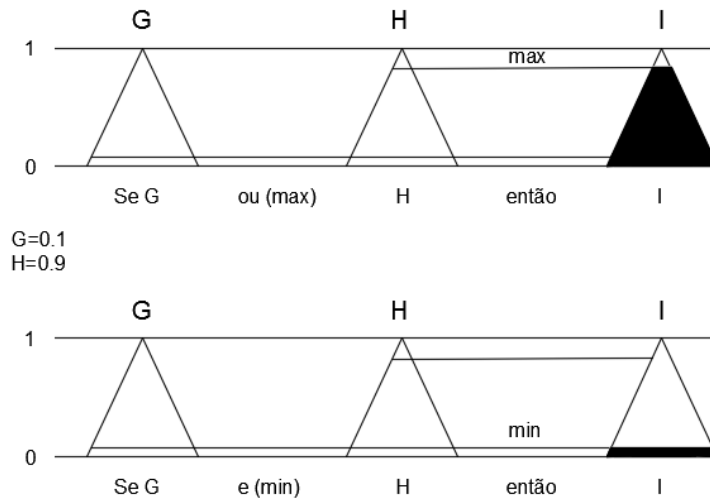


Figura 17- Esquema representativo dos operadores fuzzy

As regras *fuzzy* são caracterizadas não só pelo operador *fuzzy* que relaciona os conjuntos, mas também pelo método de implicação que define qual o conjunto resultante da aplicação dos operadores.

Após determinar qual o conjunto *fuzzy* resultante da aplicação de uma regra, este conjunto é truncado de acordo com o método de implicação, utilizando-se neste caso o método de mínimo.

$$[\mu_{\bar{A}}(u) \text{ AND } \mu_{\bar{B}}(v)] \rightarrow \mu_{\bar{C}}(w) = \min\{\mu_{\bar{A}}(u), \mu_{\bar{B}}(v), \mu_{\bar{C}}(w)\} \quad (7)$$

Na Figura 18 apresenta-se o resultado da aplicação do método de implicação de mínimo.

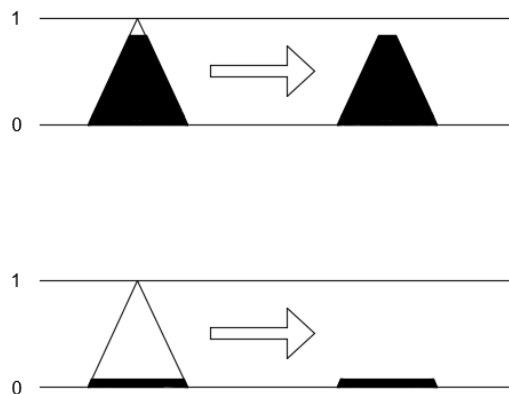


Figura 18- Esquema representativo da aplicação do método de implicação "min"

Quando se utiliza CLF é necessário ter em atenção que todas as regras são testadas pelo controlador, sendo que este procede à utilização do método de agregação para fazer a união de todos os conjuntos *fuzzy* que resultam da implementação das regras impostas.

Sendo a agregação aplicada às regras *fuzzy*, considerem-se  $R_1$  e  $R_2$  duas regras *fuzzy* a serem agregadas:

$$Agg\{R_1, R_2\} = \max\{R_1, R_2\} \quad (8)$$

Na Figura 19 apresenta-se um exemplo da implementação do método de agregação “max” aos 2 conjuntos obtidos na Figura 18.

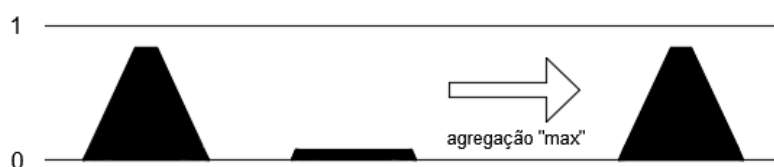


Figura 19- Esquema representativo da aplicação do método de agregação "max"

Após obtenção do conjunto *fuzzy* resultante da aplicação do método de agregação, o CLF utiliza o método de desfuzificação de forma a obter o resultado a enviar para o sistema ao qual o controlador está associado.

Neste trabalho utiliza-se o método de COA, que consiste em determinar o centro de gravidade da distribuição de possibilidades de uma ação de controlo. O cálculo do COA é dado por:

$$COA = \frac{\int \mu_{\tilde{c}}(x) \cdot x \cdot dx}{\int \mu_{\tilde{c}}(x) \cdot dx} \quad (9)$$

Na Figura 20 apresenta-se a escolha do elemento que corresponde ao centro da área do conjunto *fuzzy* obtido na operação anterior.

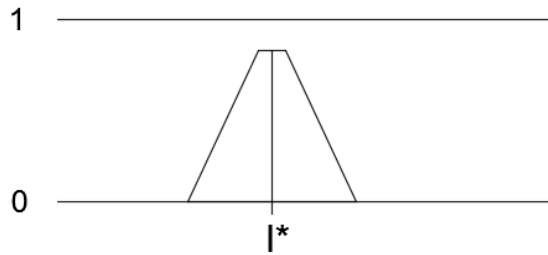


Figura 20- Esquema representativo da escolha da saída através do método de defuzzificação do centro de área

A implementação dos controladores *fuzzy* deve obedecer à seguinte metodologia:

- Definição das variáveis de entrada e de saída do controlador;
- Definição de como as variáveis se expressam em termos de conjuntos *fuzzy* (Fuzificação);
- Determinação do conjunto de regras a serem aplicadas e em que circunstâncias;
- Escolha do algoritmo de inferência a utilizar;
- Escolha do método que converte as ações *fuzzy* em ações precisas (Defuzzificação).

## 4.2 Medidas de menor impacto energético

Neste subcapítulo descrevem-se as medidas de menor impacto energético aplicadas para melhoria da eficiência energética na habitação.

### 4.2.1 Iluminação

A iluminação de uma habitação pode ser efetuada utilizando diferentes tipos de lâmpadas, no entanto, por vezes as opções escolhidas não são as mais

económicas. Existem três tipos principais de lâmpada que são normalmente utilizados em habitações:

- Lâmpada Incandescente;
- Lâmpada Fluorescente (Tubular ou Compacta);
- Lâmpada LED.

As lâmpadas incandescentes eram as mais comuns, tendo vindo a ser substituídas pelas fluorescentes compactas, que são conhecidas como lâmpadas económicas. Ainda assim, as lâmpadas económicas são atualmente menos eficientes que as lâmpadas LED em termos energéticos e de luminosidade. A Tabela 4 mostra a diferença entre os três tipos de lâmpadas referidos [50].

*Tabela 4- Comparação entre os 3 tipos de lâmpadas mais utilizadas (Valores convertidos de dólar americano para euro a uma taxa de 1 para 0,87726) [51]*

<b>Equipamento</b>	<b>Lâmpada Incandescente</b>	<b>Lâmpada Fluorescente compacta</b>	<b>Solução LED</b>
<b>Custo por lâmpada</b>	0,88 €	1,75 €	7,02 €
<b>Tempo de vida</b>	1200 h	8000 h	25000 h
<b>Potência Utilizada</b>	60 W	14 W	10 W
<b>Nº de lâmpadas para 25000 h</b>	21	3	1
<b>Custo de lâmpadas para 23 anos</b>	18,48 €	5,25 €	7,02 €
<b>Custo de Energia (25000 h a 0,11€/kWh)</b>	165,00€	38,50 €	27,50 €

Os dados apresentados na Tabela 4 referem-se apenas a um ponto de luz. Se estes resultados forem multiplicados pelo número total de pontos de luz numa habitação a discrepância será ainda maior nos valores finais para uma utilização de 25000 horas.

Além da vantagem em termos de custo de energia e de manutenção, a iluminância, para menores potências, é também superior nas lâmpadas a LED, como apresentado no Anexo 3 recorrendo à utilização do software DIALUX.

Na Tabela 5 apresenta-se o resumo referente aos pontos de luz incandescentes utilizados na habitação em estudo, bem como o equivalente em solução LED:

*Tabela 5- Resumo de pontos de luz incandescentes da habitação e solução a LED*

<b>Divisão</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Lâmpada Incandescente</b>	<b>Solução LED</b>
<b>Quarto 1</b>	Candeeiro 1	40 W	5 W
	Candeeiro 2	40W	5 W
	Candeeiro de Teto	100 W	12 W
<b>Quarto 2</b>	Candeeiro 1	40 W	5 W
	Candeeiro 2	40 W	5 W
	Candeeiro de Teto	100 W	12 W
<b>Sala de Estar</b>	Candeeiro de Teto	5 x 40 W	5 x 5 W
	Candeeiro 1	40 W	5 W
<b>Hall/Corredor</b>	Candeeiro de Teto	3 x 25 W	3 x 3 W *
<b>Casa de Banho</b>	Candeeiro de Teto	75 W	10 W **
<b>Total</b>	-	750 W	93 W

\* Como não existe o equivalente para 25 W em LED utilizou-se o equivalente para 35 W

\*\* Como não existe o equivalente para 75 W em LED utilizou-se o equivalente para 80 W

Analisando a Tabela 5 pode verificar-se uma redução de potência instalada de pontos de luz de 750 W para 93 W.

As lâmpadas fluorescentes tubulares utilizadas na cozinha e na garagem também podem ser substituídas por soluções LED, pelo que na Tabela 6 se apresenta uma comparação da potência necessária para iluminar o mesmo espaço considerando as duas soluções:

*Tabela 6- Resumo de pontos de luz fluorescentes da habitação e solução a LED*

<b>Divisão</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Lâmpada Fluorescentes</b>	<b>Solução LED</b>
<b>Cozinha</b>	Candeeiro de Teto	36 W	18 W
<b>Garagem</b>	Candeeiro de Teto	58 W	25 W
<b>Total</b>	-	94 W	43 W

Analisando a Tabela 6 pode verificar-se uma redução de potência instalada afeta aos pontos de luz de 94 W para 43 W.

Na Figura 21 apresenta-se a energia consumida utilizando os dois tipos de lâmpada na iluminação da habitação.

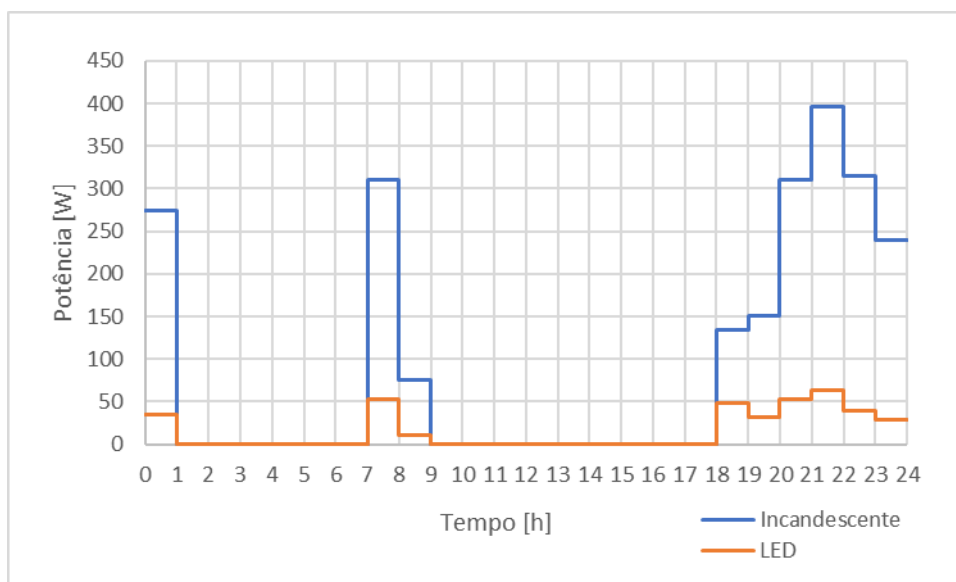


Figura 21- Consumo energético em iluminação

Os consumos apresentados na Figura 21 foram efetuados utilizando a calendarização apresentada no Anexo 1.1 e considerando a potência das lâmpadas apresentadas nas Tabelas 5 e 6. Um exemplo do cálculo da potência consumida pelas lâmpadas incandescentes e fluorescentes, entre a meia noite e a uma hora da manhã é dado pela soma da potência dos candeeiros 1 e 2 dos Quartos 1 e 2, do candeeiro 1 da Sala e do candeeiro fluorescente da Cozinha, de acordo com a expressão 10:

$$P_c = 40 + 40 + 40 + 40 + 40 + 75 = 275 \text{ W} \quad (10)$$

Aplicando o preço de energia relativo à parcela variável da tarifa bi-horária a um dia de semana de Inverno de acordo com a Tabela 3, obtêm-se os custos de energia apresentados na Figura 22 para 132 dias, que se referem a 22 dias úteis durante seis meses.

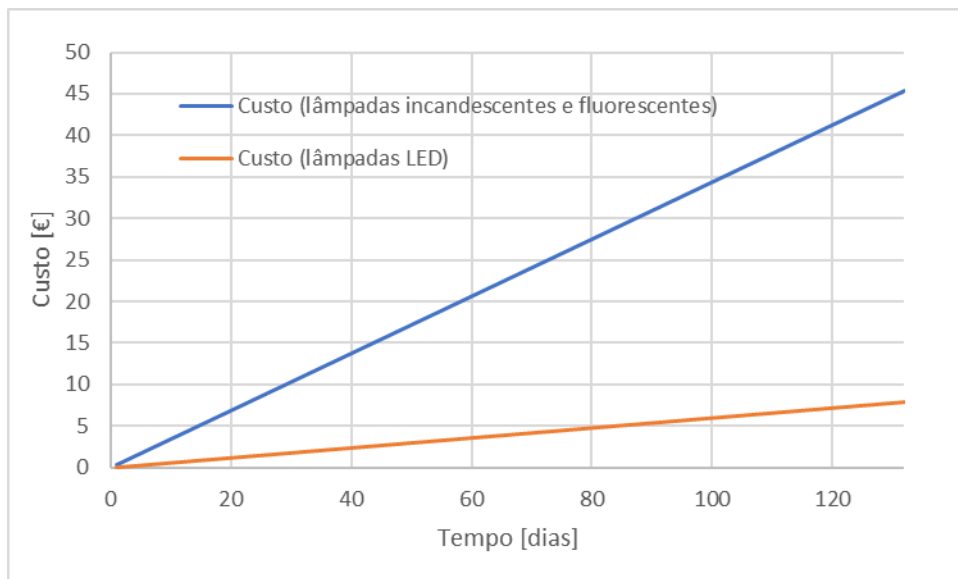


Figura 22- Comparação após substituição por lâmpadas LED a seis meses

Com a implementação desta solução é possível observar uma redução de 84,16% nos custos associados à iluminação da habitação.

#### 4.2.2 Controlo Inteligente de Iluminação e Luminosidade

O aproveitamento da luz natural de uma habitação pode incorrer numa redução de custos associados à utilização de luz artificial, para tal, deverá ser utilizado um controlo de abertura e fecho dos estores.

Deve ser utilizado um sensor capaz de realizar leituras de luminosidade dentro da habitação. Posteriormente este sensor envia a informação a um controlador que vai controlar um atuador que está ligado aos estores automáticos e executa a abertura ou fecho destes. Esta ação depende da hora do dia e do estado dos estores nesse momento. A posição dos estores está diretamente ligada ao sistema de iluminação artificial, de modo a que, a potência de saída da lâmpada varie de acordo com a luminosidade existente no interior. Esta ação depende da luminosidade no interior e da hora do dia.

Para automatização do sistema de iluminação e abertura e fecho dos estores é utilizada uma solução baseada em lógica *fuzzy*, que deve ser instalada para regulação da potência de saída das lâmpadas e posição dos estores em cada divisão. Na implementação do sistema de forma autónoma e automática foram definidas três variáveis de entrada e duas de saída, como apresentado na Figura 23:

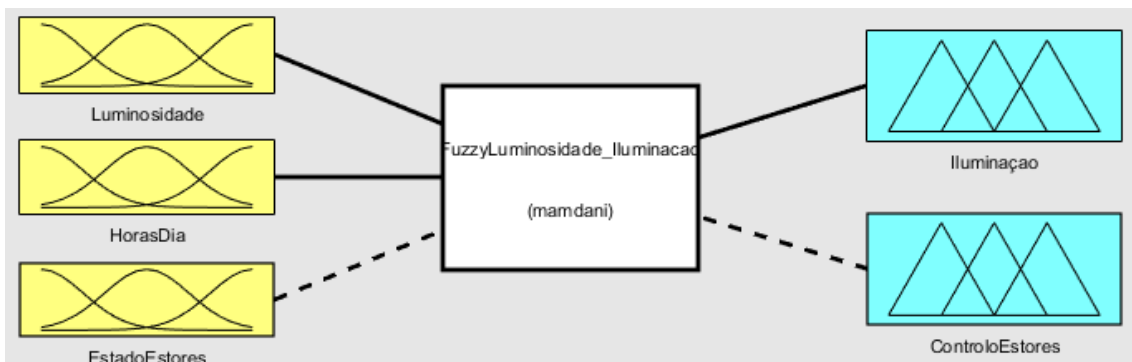


Figura 23- Esquema representativo do CLF para gestão da Luminosidade e Iluminação

Para a variável luminosidade foram definidas cinco funções de pertinência num universo de discurso entre  $[0;1]$ , sendo que estas definem o nível de luminosidade que está a ser detetado pelo sensor, como apresentado na Figura 24.

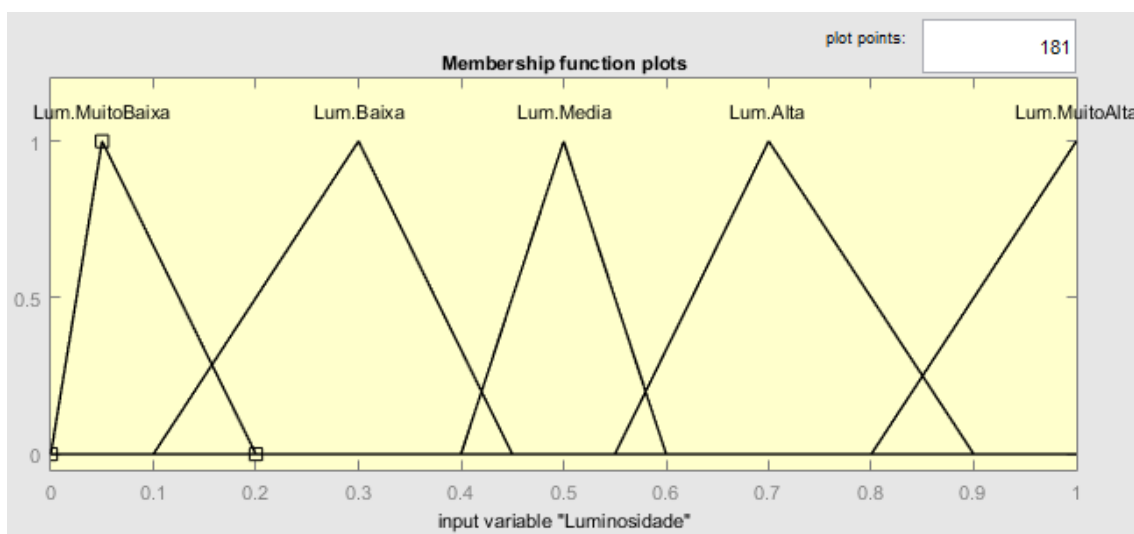


Figura 24- Variável de entrada referente à luminosidade

Para efetuar a gestão da altura em que as lâmpadas devem estar desligadas ou ligadas e os estores abertos ou fechados, foram utilizadas seis funções de pertença definidas num universo de discurso entre [0;24], como apresentado na Figura 25.

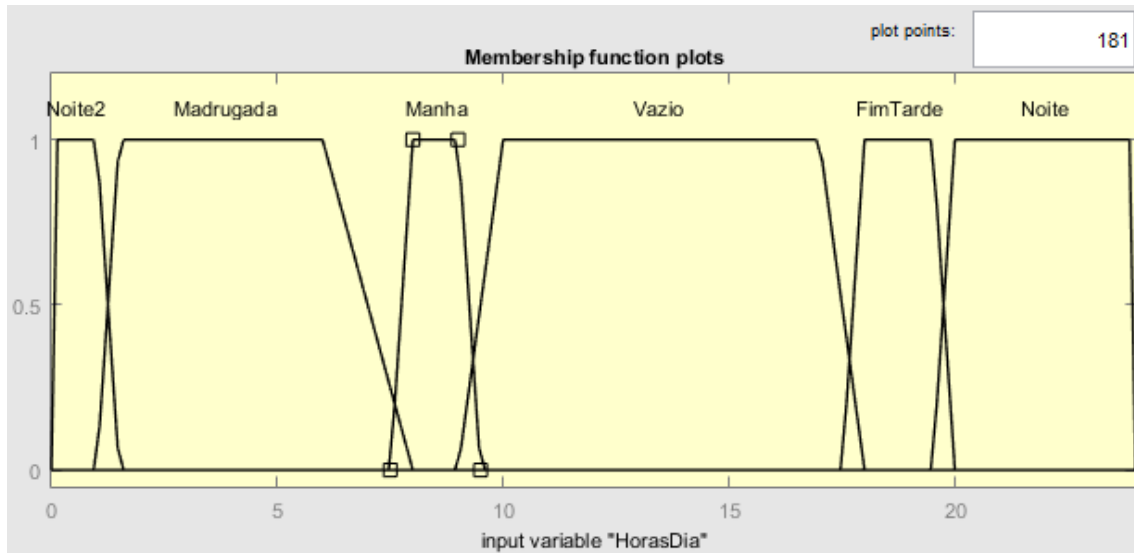


Figura 25- Variável de entrada referente às horas do dia

De forma a ter informação acerca da posição dos estores num determinado momento, foi implementada uma variável constituída por três funções de pertença num universo de discurso entre [-0,1;2,1], como apresentado na Figura 26.

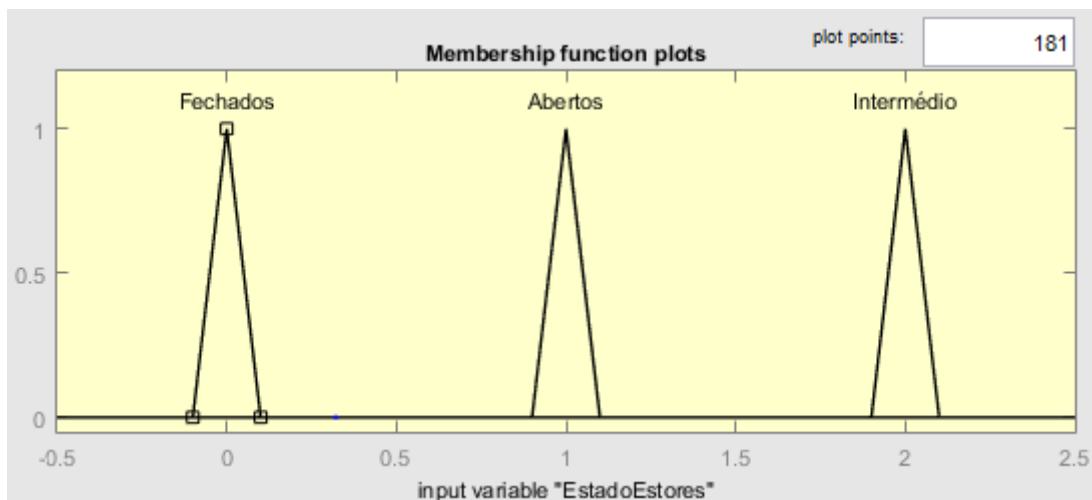


Figura 26- Variável de entrada referente ao estado dos estores

A variável de saída que corresponde à potência necessária para iluminar a divisão de forma eficiente é caracterizada por seis funções de pertinência definidas num universo de discurso entre [0;1], como apresentado na Figura 27.

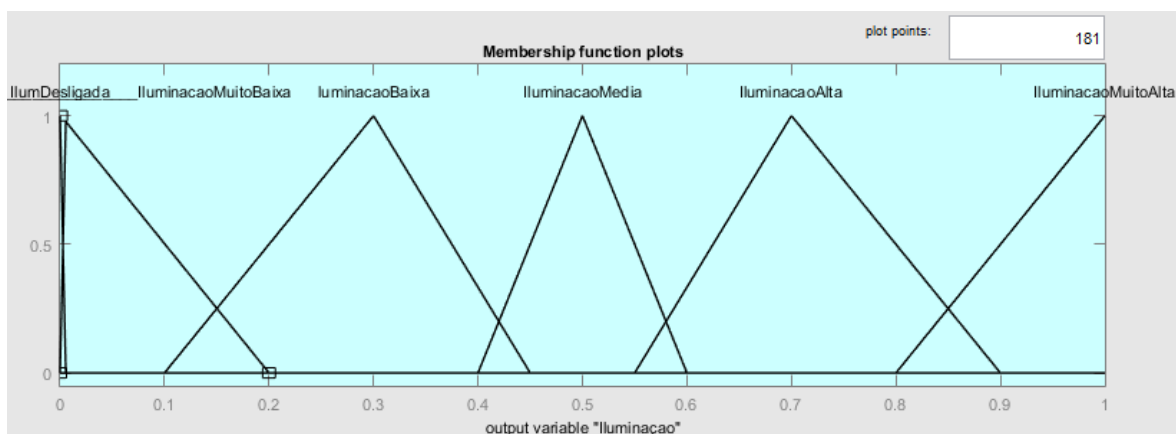


Figura 27- Variável de saída referente à iluminação

A variável de saída correspondente à abertura ou fecho dos estores é caracterizada por quatro funções de pertinência definidas num universo de discurso entre [-0.1;3.1], como apresentado na Figura 26.

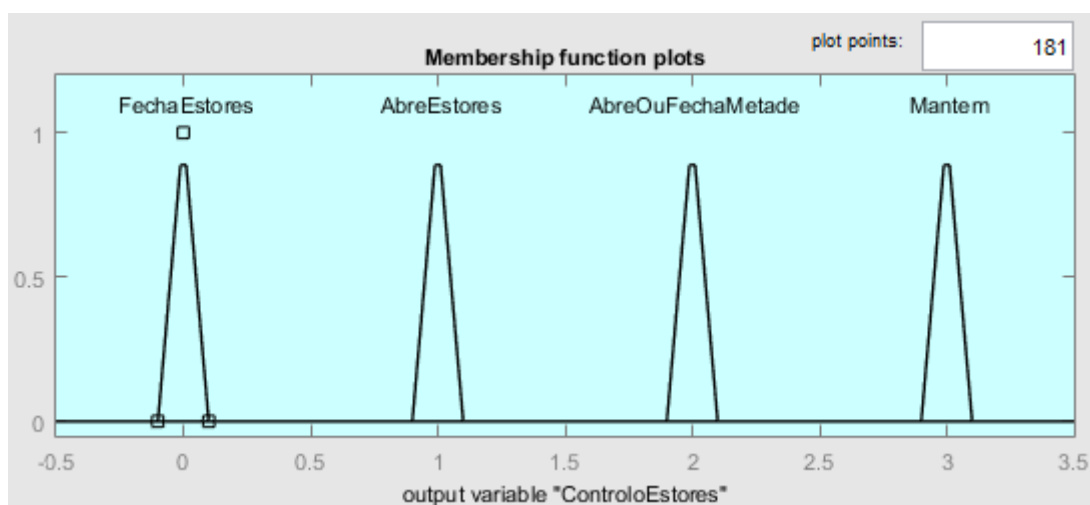


Figura 28- Variável de saída referente ao controlo da abertura/fecho dos estores

Após fuzificação das variáveis é necessário definir as regras do CLF. Neste caso, como existem duas variáveis de saída foram implementados dois conjuntos de regras distintos no mesmo sistema *fuzzy*. As regras a implementar referentes ao controlo de iluminação são apresentadas na Tabela 7, enquanto as regras referentes ao controlo dos estores são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 7- Lista de regras do CLF para gestão de iluminação

Iluminação		Leitura do sensor de luminosidade dentro da habitação				
Horas do Dia		Lum.MuitoBaixa	Lum.Baixa	Lum.Média	Lum.Alta	Lum.MuitoAlta
	<b>Madrugada</b>	IllumDesligada	IllumDesligada	IllumDesligada	IllumDesligada	IllumDesligada
	<b>Manhã</b>	IllumMuitoAlta	IllumAlta	IllumMedia	IllumBaixa	IllumMuitoBaixa
	<b>Vazio</b>	IllumDesligada	IllumDesligada	IllumDesligada	IllumDesligada	IllumDesligada
	<b>FimTarde</b>	IllumMuitoAlta	IllumAlta	IllumMedia	IllumBaixa	IllumMuitoBaixa
	<b>Noite</b>	IllumMuitoAlta	IllumMuitoAlta	IllumMuitoAlta	IllumMuitoAlta	IllumMuitoAlta
	<b>Noite2</b>	IllumMuitoAlta	IllumMuitoAlta	IllumMuitoAlta	IllumMuitoAlta	IllumMuitoAlta

Da Tabela 7 podem obter-se regras como:

“Se a leitura do sensor de luminosidade dentro da habitação indicar luminosidade muito baixa e se a hora do dia for de madrugada, então a iluminação é desligada”.

“Se a leitura do sensor de luminosidade dentro da habitação indicar luminosidade média e se a hora do dia for vazio, então a iluminação é desligada”.

Tabela 8- Lista de regras do CLF para gestão da posição dos estores

Gestão da posição dos estores	Horas do Dia						
		Madrugada	Manhã	Vazio	FimTarde	Noite	Noite2
Estado dos estores	<b>Aberto</b>	Fecha Estores	Mantem	AbreOu FechaMetade	Mantem	AbreOu FechaMetade	Fecha Estores
	<b>Fechado</b>	Mantem	Abre Estores	AbreOu FechaMetade	Abre Estores	AbreOu FechaMetade	Mantem
	<b>Intermédio</b>	Fecha Estores	Abre Estores	Mantem	Abre Estores	Mantem	Fecha Estores

Da Tabela 8 podem obter-se regras como:

“Se o estado dos estores for aberto e a hora do dia for de madrugada, então fecham-se os estores.”

“Se o estado dos estores for fechado e a hora do dia for vazio, então os estores devem abrir ou fechar até meio.”

Considere-se um cenário para um dia cujo diagrama de carga é o da Figura 13 (página 32). Se entre as 18h e as 19h for economizada uma hora de energia, se entre as 19h e as 20h apenas se utilize 50% da potência máxima disponível em iluminação artificial e se forem utilizadas lâmpadas LED, podem obter-se as reduções de custos apresentadas na Tabela 9.

*Tabela 9- Resumo da energia consumida pela iluminação artificial entre as 18h e as 20h*

<b>Hora</b>	<b>Energia Consumida [Wh]</b>	<b>Custo [€]</b>	<b>Energia Consumida Após medidas [Wh]</b>	<b>Custo [€]</b>
18h-19h	23	0,005	0	0
19h-20h	32	0,006	16	0,003

Como está a ser considerada a utilização de lâmpadas LED e neste caso, estão poucos pontos de luz ligados, os resultados não são muito perceptíveis. Por este motivo, é considerado um horizonte temporal correspondente a 1 ano, uma vez que os valores utilizados são referentes a dias de Inverno. Adicionalmente, são apenas considerados dias úteis, para os quais foi considerada a utilização da tarifa bi-horária.

*Tabela 10- Análise de redução de custos com a implementação das medidas a seis meses*

	<b>Sem aplicação de medidas</b>	<b>Com aplicação de medidas</b>
<b>Custo (22 dias) [€]</b>	0,240	0,070
<b>Custo (6 meses) [€]</b>	1,438	0,418

Analisando os resultados obtidos conclui-se que existe uma redução de aproximadamente 71% a cada seis meses com a aplicação das medidas apresentadas em comparação com o caso em que não era maximizado o aproveitamento da iluminação natural. Caso estas medidas fossem aplicadas a um dia de verão, os resultados seriam ainda mais significativos, dado que existem mais horas de luz natural durante as horas de ocupação da habitação.

### 4.2.3 Controlo de Cargas

O controlo de cargas tem como principal objetivo a redução da energia fantasma, esta pode ser reduzida ou eliminada tanto por ação humana como pela utilização de um equipamento para controlo de cargas. Por ação humana, os utilizadores devem desligar todos os equipamentos das respetivas tomadas de energia quando não estão a ser utilizados. No entanto, como esta atividade é na maioria das vezes ignorada ou esquecida, foram desenvolvidos equipamentos que o fazem autónoma e automaticamente.

No entanto, se os utilizadores considerarem necessário manterem-se informados sobre os equipamentos que estão em funcionamento ou a consumir energia passivamente, podem utilizar uma solução com tomadas inteligentes.

A tecnologia atual permite que estas tomadas inteligentes possam ser controladas por computador ou por aplicação para *Smart-Phone*. Nestas plataformas estão disponíveis relatórios de consumo energético e a possibilidade de ligar ou desligar os equipamentos que o utilizador considere convenientes. Estas ações estão acessíveis em qualquer lugar através do acesso à internet. Estes equipamentos são de fácil instalação, sendo apenas necessário conectá-las às tomadas de energia existentes na habitação.

Neste trabalho é utilizada uma solução com CLF em conjunto com as tomadas inteligentes, sendo estas tomadas inteligentes responsáveis pelo envio de dados de consumo em tempo real para o controlador. O controlador analisa os dados recebidos e decide se a tomada deve ser desligada ou não. Esta solução é vantajosa porque a qualquer momento pode ser reprogramado o controlador de forma a melhorar a qualidade de serviço prestado ao consumidor.

Na Tabela 11 apresentam-se os consumos médios em *standby* dos equipamentos da habitação em estudo, estes valores foram retirados dos perfis diários de consumo fornecidos por [41].

Tabela 11- Dados referentes à duração e consumo em standby dos equipamentos

Equipamento	Nº Equipamentos	Consumo médio/h [W]	Tempo de <i>standby</i> por equipamento [h]
MLR	1	2	22
MSR	1	2	22
MLL	1	2	22
Televisão	2	2	20
Televisão sala	1	2	15
Desktop	2	4	17
Sistema de Som	1	2	22

Considerando agora que a tarifa em utilização é a bi-horária no período de Inverno, o custo de energia para seis meses é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12- Custo a seis meses causado pela energia fantasma

Equipamento	Nº Equipamentos	Funcionamento em vazio [h]	Funcionamento fora de vazio [h]	Custo (6 meses) [€]
MLR	1	7	15	0,97
MSR	1	6	16	1,00
MLL	1	7	15	0,97
Televisão	2	6	14	0,89
Televisão sala	1	6	9	0,63
Desktop	2	6	11	1,47
Sistema de Som	1	7	15	0,97

Nesta habitação existe um custo total com o consumo de energia fantasma de 6,92 € a cada seis meses, correspondentes ao período de Inverno.

De referir, que nesta habitação foram utilizados alguns dos equipamentos mais comuns. No entanto, equipamentos como relógios, DVD, máquina de café, impressora, entre outros equipamentos poderão estar também presentes em grande parte das habitações, os quais contribuem para o aumento do valor total de custos com o consumo energia fantasma.

Para a implementação do CLF para controlo de cargas á considerada a potência consumida pelos equipamentos em *standby*. Nos equipamentos em estudo, a potência média em *standby* nunca é superior a 5 W como apresentado na Tabela 11.

A introdução do CLF para eliminação do consumo da energia fantasma utiliza duas variáveis de entrada e uma de saída, como apresentado na Figura 29:

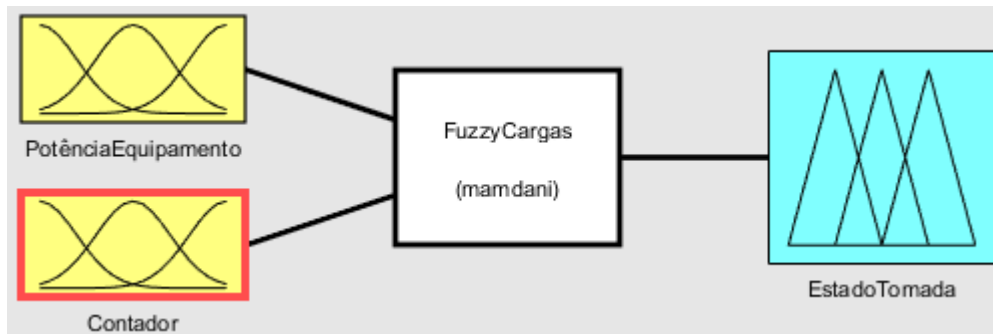


Figura 29- Esquema representativo do CLF para o controle de cargas

Na Figura 30 apresenta-se a variável “PotênciaEquipamento” que define a potência a partir da qual o equipamento pode ser considerado em funcionamento. Neste caso, foi definido o valor de 7 W a partir do qual se considera que o equipamento está em funcionamento, desta forma está garantida a inclusão no sistema de controlo os equipamentos que ultrapassem a potência média em *standby*.

Caso sejam introduzidos na habitação equipamentos cuja energia fantasma seja superior à definida neste caso, basta alterar o limite superior da variável “Standby” bem como o limite inferior da variável “Funcionamento”.

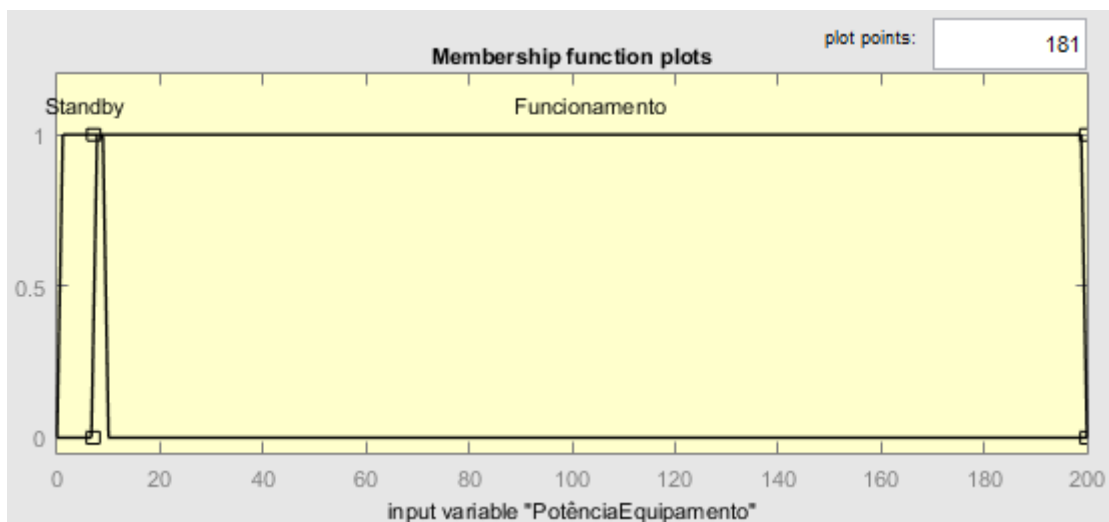


Figura 30- Variável de entrada referente à potência dos equipamentos

Para evitar desligar equipamentos cujo regime transitório tenha valores próximos da potência consumida em *standby* foi definida a variável apresentada na Figura 31, onde são considerados trinta segundos para ser tomada a decisão de desligar ou não o equipamento.

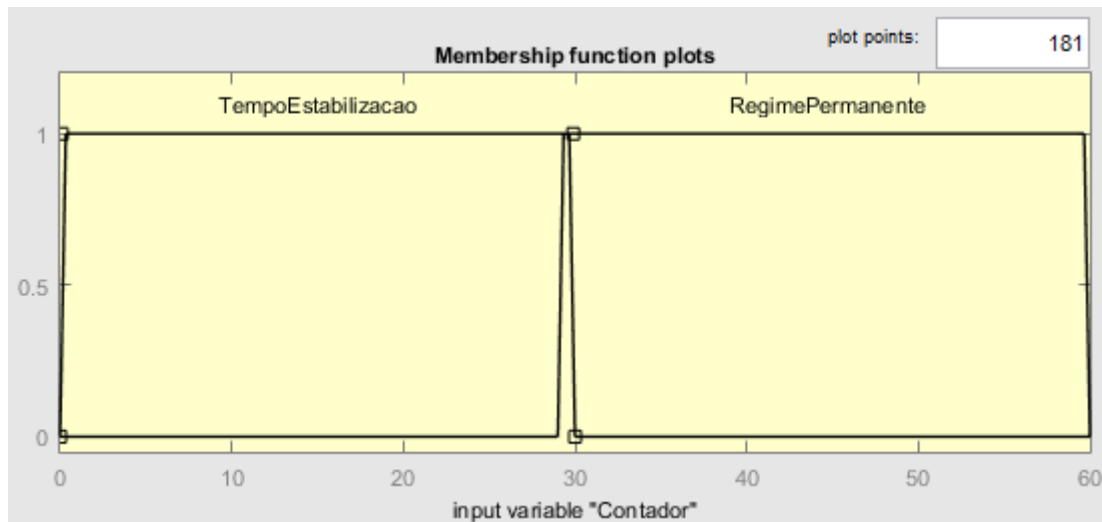


Figura 31- Variável de entrada referente ao tempo máximo definido para o tempo de estabilização

Relativamente à variável de saída são definidas duas funções de pertinência que representam os dois estados possíveis da tomada face ao consumo do equipamento, como apresentado na Figura 32.

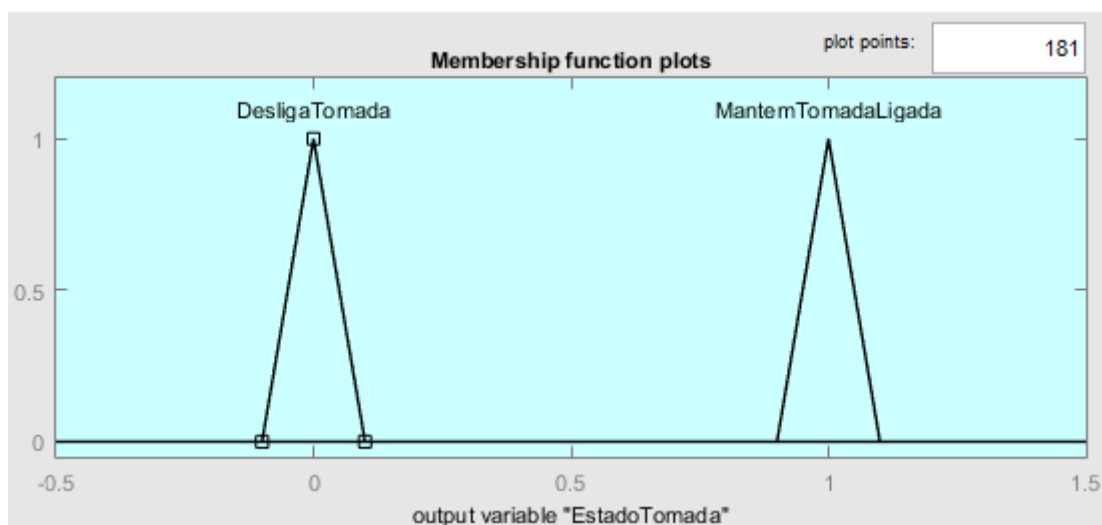


Figura 32- Variável de saída referente ao estado das tomadas

Após fuzificação das variáveis é necessário definir as regras do CLF. As regras a implementar são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13- Lista de regras do CLF para controlo de cargas

Estado da tomada		Contador	
		TempoEstabilização	RegimePermanente
Potência	Standby	MantemTomadaLigada	DesligaTomada
Equipamentos	Funcionamento	MantemTomadaLigada	MantemTomadaLigada

Da Tabela 13 podem obter-se regras como:

“Se o contador indicar tempo de estabilização e a potência dos equipamentos indicar funcionamento, então a tomada deve manter-se ligada”.

“Se o contador indicar regime permanente e a potência dos equipamentos indicar *Standby*, então a tomada deve ser desligada”.

Após implementação do CLF para o controlo de cargas, o consumo da energia fantasma passam a ser aproximadamente zero, tal como os custos apresentados na Tabela 12.

## 4.3 Medidas de maior impacto energético

Neste subcapítulo descrevem-se as medidas de maior impacto energético aplicadas para a melhoria da eficiência energética da habitação.

### 4.3.1 Controlo do AVAC

O AVAC sendo um dos maiores responsáveis pelos custos de energia elétrica de uma habitação, é analisado em maior detalhe comparativamente às medidas apresentadas anteriormente.

Num sistema de controlo convencional de AVAC a entrada é a temperatura desejada (*Set-Point*) e a saída é a potência térmica à saída do equipamento para que possa ser atingida a temperatura de referência.

Para a obtenção do perfil de carga do AVAC foi utilizada a *toolbox* “*Thermal Model of a House*” disponível no MATLAB. Tem como entradas a temperatura desejada e a temperatura exterior.

A forma como está implementado o sistema de AVAC da *toolbox* ajusta a sua potência de saída utilizando um termostato que liga ou desliga o sistema com objetivo de manter a temperatura em torno da referência pretendida. Na *toolbox* considerada a temperatura exterior é utilizada como entrada porque tem influência direta na temperatura interior, influência esta que é proporcional à qualidade do isolamento da habitação.

Esta *toolbox* permite o cálculo do custo em energia elétrica necessário para o AVAC manter a temperatura interior em torno de um valor de referência durante um determinado número de horas. No entanto, esta apresenta algumas limitações, visto que, existem outros fatores que influenciam a temperatura no interior da habitação que não estão a ser considerados. Como solução desta limitação foi introduzida uma perturbação no modelo da habitação que representa a energia calorífica libertada pelos habitantes, tendo em conta os valores da Tabela 14.

A atividade exercida pelos habitantes refletir-se-á numa libertação de calor proporcional à exigência física desta [7]

A Tabela 14 é apresentada os dados referentes às atividades que mais se desenvolvem numa habitação. No Anexo 6.1 apresenta-se a tabela completa com os valores de libertação de calor.

Tabela 14- Dados Relativos à libertação de calor consoante a atividade exercida [7]

<b>Atividade</b>	<b>[Btu/h]</b>	<b>met</b>	<b>[W]</b>
Dormir	239,2	0,7	72,8
Encostado	276	0,8	83,2
Sentado (calmo)	331,2	1,0	104,0
Levantado (relaxado)	404,8	1,2	124,8
3,22 km/h	680,8	2,0	208,0
4,83 km/h	883,2	2,6	270,4
6,44 km/h	1288	3,8	395,2
Ler (sentado)	331,2	1,0	104,0
Escrever	368	1,1	114,4
Arquivar (sentado)	404,8	1,2	124,8
Arquivar (levantado)	478,4	1,4	145,6
Perambular	570,4	1,7	176,8
Levantar/Empacotar	717,6	2,1	218,4
Cozinhar	533,6 a 680,8	1,6 a 2,0	166,4 a 208,0
Limpeza	680,8 a 1159,2	2,0 a 3,4	208,0 a 353,6
Dançar	809,6 a 1490,4	2,4 a 4,4	249,6 a 457,6
Exercícios Diversos	1012,0 a 1361,6	3,0 a 4,0	312,0 a 416,0

Os valores referidos na Tabela 14 têm em conta a área de DuBois (18,4 ft<sup>2</sup> = 1,8 m<sup>2</sup>), que representa a área média do corpo humano. Num corpo com a área de DuBois é libertado por hora 1 met em energia térmica caso este se encontre sentado (calmo) [7],[52].

A energia calorífica libertada pode ser representada em Watt, sendo que 1 met equivale a 58 W/m<sup>2</sup>, como neste caso considera-se a área de DuBois, 1 met equivale a 104 W.

Para prever a contribuição por parte dos habitantes, é necessário determinar quantos estarão no local a uma determinada hora.

Esta informação permite ao controlador prever a contribuição humana para o aquecimento, permitindo também que o AVAC, conhecendo o perfil de ocupação inicie o aquecimento da habitação antecipadamente, por forma a que à chegada dos habitantes a temperatura de referência já tenha sido alcançada. Desta forma, aumenta o conforto dos habitantes, e ao efetuar o aumento da temperatura de forma gradual, diminuem-se os picos de potência dos equipamentos necessários para satisfazer gradientes térmicos mais elevados.

Para determinar o número de habitantes utiliza-se um calendário predefinido por estes e que serve de entrada para ao controlador.

Em conjunto com o calendário, é utilizado equipamento para deteção de presenças. O sensor é responsável por minimizar erros associados à reestruturação do calendário diários dos habitantes.

O aquecimento prévio da habitação é efetuado de acordo com a calendarização do número de habitantes que estarão na habitação a uma determinada hora com um determinado intervalo de tempo associado.

Se o equipamento de deteção de presenças não detetar nenhuma entrada até ser ultrapassado o tempo limite estipulado, o AVAC desliga automaticamente até o utilizador dar ordem contrária.

Para previsão da temperatura exterior utiliza-se uma RNA do tipo *feedforward* cuja arquitetura é definida por quatro entradas, que representam as temperaturas exteriores nas quatro horas anteriores e 1 saída que representa a temperatura na hora prevista. Foi utilizada para o treino uma rede com vinte neurónios, visto que, foi aquela que apresentou valores mais perto do esperado quanto testada. O treino da RNA utilizou o algoritmo de Levenberg-Marquardt, sendo o conjunto de treino constituído pelos valores de temperatura a cada hora registados no período de Inverno do ano de 2010.

A RNA implementada pode ser representada como demonstrado na Figura 33:

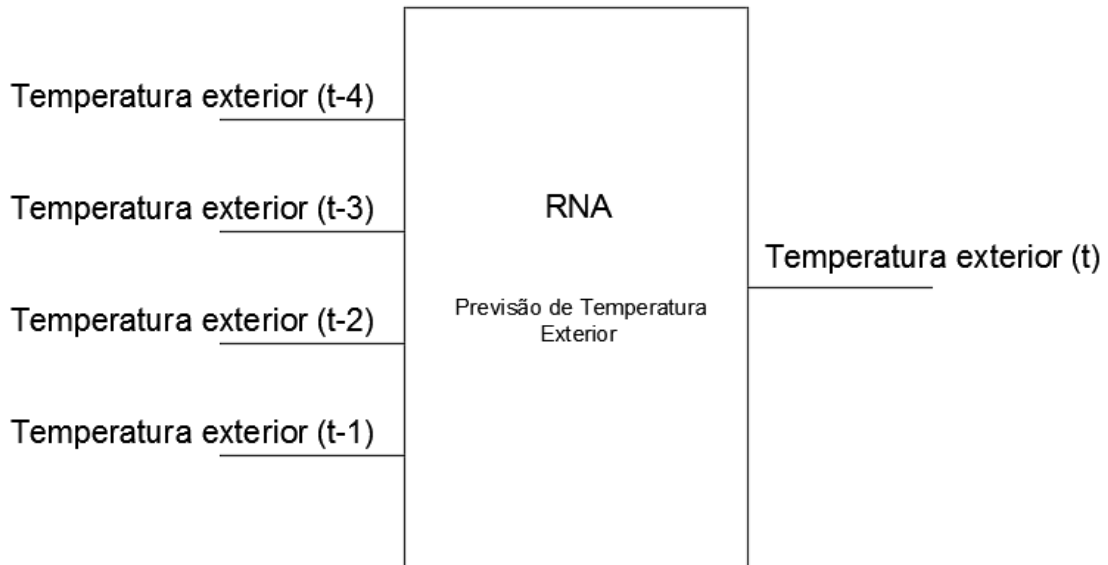


Figura 33- Esquema representativo da RNA para previsão de temperatura exterior - adaptação [53]

Sendo que a RNA determina a relação estatística entre os valores de entrada e saída, permitindo efetuar a previsão, a determinação dos valores mais influentes no acontecimento a ser previsto, resulta do cálculo da auto correlação entre cada variável de entrada através da correlação de Pearson. Neste sentido, os padrões para de cada variável de entrada foram formados com valores que apresentam coeficientes de autocorrelação superiores a 0,98.

A correlação é dada por:

$$Correl (r, s) = \frac{\sum(a - \bar{a})(b - \bar{b})}{\sqrt{\sum(a - \bar{a})^2(b - \bar{b})^2}} \quad (11)$$

Onde  $a$  e  $b$  são conjuntos de valores e  $\bar{a}$  e  $\bar{b}$  são a médias das amostras dos conjuntos  $a$  e  $b$ .

Os valores resultantes do cálculo da correlação de Pearson podem ser analisados segundo a Tabela 15.

Tabela 15- Valores possíveis resultantes da aplicação da correlação de Pearson

$Correl (r,s) \approx -1$	Forte correlação negativa
$Correl (r,s) \approx 1$	Forte correlação positiva
$Correl (r,s) = 0$	Aleatoriedade

Os dados de entrada da RNA foram fornecidos à *toolbox* em formato de uma matriz [182x4], em que o primeiro valor representa o número de dias entre Outubro e Março e o segundo valor o número de horas necessárias para prever a hora seguinte.

Quanto aos dados de saída, estes foram fornecidos à *toolbox* no formato de uma matriz [182x1], em que em cada linha era dado o valor de temperatura que correspondia à hora que se queria prever.

O desempenho da RNA é avaliado tendo em conta o erro médio quadrático (MSE) e o erro médio absoluto em percentagem (MAPE) que avaliam o desvio entre os valores desejados e os valores do conjunto de treino.

O MSE é dado por:

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{n_d} \sum_{k=1}^{n_d} (\hat{Y}_k - Y_k)^2} \quad (12)$$

Onde,  $n_d$  representa o número de dados,  $Y_k$  o valor real e  $\hat{Y}_k$  o valor previsto da variável.

O MAPE é dado por:

$$MAPE = \frac{100}{n_d} \sum_{k=1}^{n_d} \left| \frac{Y_k - \hat{Y}_k}{Y_k} \right| \quad (13)$$

Onde  $n_d$  representa o número de dados,  $Y_k$  o valor real e  $\hat{Y}_k$  o valor previsto da variável.

A RNA para previsão de temperatura apresentou os valores de MSE e de correlação, representados na Tabela 16.

Tabela 16- Resultados do erro médio quadrático após treino para análise da qualidade da RNA

Fase	MSE
Treino	0,5615
Validação	0,6085
Teste	0,5733

Os valores do desvio médio quadrático para validação da rede rondam os 60%, estes representam o caso em que os valores previstos mais se aproximaram dos valores desejados para os diferentes números de neurónios utilizados no treino da RNA. Note-se que as RNA foram testadas com valores diferentes dos fornecidos para treino e mesmo que estas sejam treinadas com os mesmos dados e parâmetros os resultados podem ser distintos, porque os valores iniciais dos pesos da rede são diferentes.

Após obtenção dos dados de entrada, a *toolbox* “Thermal Model of a House” permite determinar a temperatura que está no interior através das seguintes expressões [43][54]:

$$\frac{dQ_{avac}}{dt} = (T_{saída} - T_{espaço}) \cdot \dot{M} \cdot c \quad (14)$$

Onde,  $dQ_{avac}/dt$  representa o fluxo de calor do AVAC para o espaço,  $T_{saída}$  é a temperatura de saída do ar do AVAC,  $T_{espaço}$  indica a temperatura atual do espaço,  $\dot{M}$  representa o rácio do fluxo de massa de ar que sai do AVAC e  $c$  é a capacidade de aquecimento ou arrefecimento do ar a pressão constante.

Neste modelo não é utilizada a energia calorífica libertada pelos habitantes, pelo que é considerada a seguinte expressão:

$$\frac{dQ_{avac}}{dt} = (T_{saída} - T_{final\ espaço}) \cdot \dot{M} \cdot c \quad (15)$$

Onde,  $dQ_{avac}/dt$  representa o fluxo de calor do AVAC para o espaço,  $T_{saída}$  é a temperatura de saída do ar do AVAC,  $T_{final\ espaço}$  indica a temperatura do espaço após considerada a libertação de calor por parte dos habitantes,  $\dot{M}$  representa o rácio do fluxo de massa de ar que sai do AVAC e  $c$  é a capacidade de aquecimento ou arrefecimento do ar a pressão constante.

$$T_{final\ espaço} = T_{espaço} + T_{habitantes} \quad (16)$$

Onde,  $T_{espaço}$  é a temperatura atual do espaço,  $T_{habitantes}$  representa o aumento de temperatura no espaço por influência dos habitantes e

$T_{final\text{espaço}}$  representa a contribuição das duas temperaturas para o espaço considerado.

O fluxo de calor dentro do espaço considerado é dado por:

$$\frac{dQ_{final\text{espaço}}}{dt} = \frac{1}{M_{ar} \cdot c} \cdot \left( \frac{dQ_{avac}}{dt} - \frac{dQ_{perdas}}{dt} \right) \quad (17)$$

Onde,  $dQ_{final\text{espaço}}/dt$  representa o fluxo de calor dentro do espaço,  $M_{ar}$  indica a massa do ar,  $c$  é a capacidade de aquecimento ou arrefecimento do ar a pressão constante,  $dQ_{avac}/dt$  representa o fluxo de calor do AVAC para o espaço e  $dQ_{perdas}/dt$  é o fluxo de calor que se perde do interior para o exterior. As perdas térmicas, dependem dos aspetos construtivos da habitação, nomeadamente, do tipo de isolamento e envidraçados e são dadas por:

$$\frac{dQ_{perdas}}{dt} = \left( \frac{T_{final\text{espaço}} - T_{exterior}}{Req} \right) \quad (18)$$

Onde,  $dQ_{perdas}/dt$  representa o fluxo de calor que se perde do interior para o exterior,  $T_{final\text{espaço}}$  é a temperatura do espaço após considerada a libertação de calor por parte dos habitantes,  $T_{exterior}$  indica a temperatura no exterior e  $Req$  representa a resistência térmica equivalente.

Na Tabela 17 apresentam-se os valores utilizados pela *toolbox* para o cálculo dos fluxos térmicos.

Tabela 17- Valores da *toolbox* "Thermal Model of a House" para cálculo dos fluxos térmicos

<b>Mdot</b>	1kg/s =3600 kg/h
<b>c</b>	273 K =1005,4 J/h/m/°C
<b>Tsaída</b>	50 °C = 323.15 K

A resistência térmica equivalente é obtida pelo paralelo entre os elementos que separam o espaço interior do exterior, neste caso, as paredes e os envidraçados, sendo dada por:

$$Req = \frac{R_{paredes} \cdot R_{envidraçados}}{R_{paredes} + R_{envidraçados}} \quad (19)$$

Onde,  $R_{eq}$  representa a resistência térmica total equivalente,  $R_{paredes}$  é a resistência térmica equivalente das paredes e  $R_{envidraçados}$  a resistência térmica equivalente dos envidraçados. A resistência térmica destes elementos depende da espessura, da área que ocupam na habitação e do fator  $k$  que define a qualidade de isolamento do material. A resistência térmica equivalente dos envidraçados é dada por:

$$R_{envidraçados} = \frac{E_{envidraçados}}{k_{envidraçados} \cdot A_{envidraçados}} \quad (20)$$

Onde,  $R_{envidraçados}$  representa a resistência térmica equivalente dos envidraçados,  $E_{envidraçados}$  indica a espessura dos envidraçados,  $k_{envidraçados}$  é o fator que caracteriza a capacidade de isolamento dos envidraçados e  $A_{envidraçados}$  a área dos envidraçados. A resistência térmica equivalente das paredes é dada por:

$$R_{paredes} = \frac{E_{paredes}}{k_{paredes} \cdot A_{paredes}} \quad (21)$$

Onde,  $R_{paredes}$  representa a resistência térmica equivalente das paredes,  $E_{paredes}$  indica a espessura das paredes,  $k_{paredes}$  é o fator que caracteriza a capacidade de isolamento das paredes e  $A_{paredes}$  a área das paredes.

Considere-se que a habitação tem o equivalente a seis envidraçados com 1 m<sup>2</sup> cada. A área total dos envidraçados é dada por:

$$A_{envidraçados} = N_{envidraçados} \cdot H_{envidraçados} \cdot C_{envidraçados} \quad (22)$$

Onde,  $A_{envidraçados}$  representa a área dos envidraçados,  $N_{envidraçados}$  indica o número de envidraçados,  $H_{envidraçados}$  é a altura dos envidraçados e  $C_{envidraçados}$  o comprimento dos envidraçados. Sendo a área das paredes dada por:

$$A_{paredes} = 2 \cdot C_{espaço} \cdot H_{espaço} + 2 \cdot L_{espaço} \cdot H_{espaço} + 2 \cdot \left( \frac{1}{\cos\left(\frac{telhado}{2}\right)} \right) \cdot C_{espaço} \cdot L_{espaço} + tg(telhado) \cdot L_{espaço} - A_{envidraçados} \quad (23)$$

Onde,  $A_{paredes}$  representa a área das paredes,  $C_{espaço}$  é o comprimento do espaço,  $H_{espaço}$  indica a altura ou pé direito do espaço, representa a largura do espaço,  $telhado$  indica a inclinação do telhado e  $A_{envidraçados}$  representa a área dos envidraçados.

Para os cálculos consideram-se as características referidas nas Tabelas 18 e 19:

Tabela 18- Características da habitação para cálculo da Resistência Térmica Equivalente

<b>Eenvidraçados</b>	0,01 m
<b>Eparedes</b>	0,2 m
<b>Kenvidraçados</b>	0,78 J/s/m/°C
<b>kparedes</b>	0,038 J/s/m/°C

Tabela 19- Características/dimensões do espaço em estudo

<b>Cespaço</b>	10 m
<b>Lespaço</b>	10 m
<b>Hespaço</b>	2,5 m
<b>telhado</b>	40°

A variação de temperatura do espaço é dada por:

$$\frac{dT_{final\ espaço}}{dt} = \frac{1}{M_{ar} \cdot c} \cdot \left( \frac{dQ_{avac}}{dt} - \frac{dQ_{perdas}}{dt} \right) \quad (24)$$

Onde,  $dT_{final\ espaço}/dt$  representa o balanço de temperatura do espaço após perdas e aquecimento,  $M_{ar}$  indica a massa de ar dentro do espaço,  $c$  é a capacidade de aquecimento ou arrefecimento do ar a pressão constante,  $dQ_{avac}/dt$  é o fluxo de calor do AVAC para o espaço e  $dQ_{perdas}/dt$  representa o fluxo de calor que se perde do interior para o exterior.

A massa de ar dentro do espaço depende das características construtivas e é dada por:

$$Mar = (Cespaço \cdot Lespaço \cdot Hespaço + tg(\text{telhado}) \cdot Cespaço \cdot Lespaço) \cdot \rho_{ar} \quad (25)$$

Onde  $Mar$  representa a massa de ar dentro do espaço,  $Cespaço$ ,  $Lespaço$  e  $Hespaço$  indicam respetivamente o comprimento, largura e altura ou pé direito do espaço,  $tg(\text{telhado})$  represente a inclinação do telhado e  $\rho_{ar}$  é a densidade do ar com o valor de  $1,225 \text{ kg/m}^3$ .

Para a determinação da potência térmica a libertar pelo equipamento de AVAC, foi utilizado o CLF.

Com a introdução do CLF, o fluxo de calor do AVAC para o espaço é definido pela saída do controlador fuzzy e a variação da temperatura no interior do espaço é dada por:

$$\frac{dT_{\text{final espaço}}}{dt} = \frac{1}{Mar \cdot c} \cdot \left( \frac{dQ_{\text{avac}}}{dt} - \frac{dQ_{\text{perdas}}}{dt} + \frac{dQ_{\text{habitantes}}}{dt} \right) \quad (26)$$

Onde,  $dT_{\text{final espaço}}/dt$  representa o balanço de temperatura do espaço após perdas e aquecimento,  $Mar$  indica a massa de ar dentro do espaço,  $c$  é a capacidade de aquecimento ou arrefecimento do ar a pressão constante,  $dQ_{\text{avac}}/dt$  é o fluxo de calor do AVAC para o espaço,  $dQ_{\text{perdas}}/dt$  representa o fluxo de calor que se perde do interior para o exterior e  $dQ_{\text{habitantes}}/dt$  é o fluxo calor libertado pelos habitantes para o espaço.

O controlador *fuzzy* é posteriormente integrado no sistema de AVAC como apresentado na Figura 34.

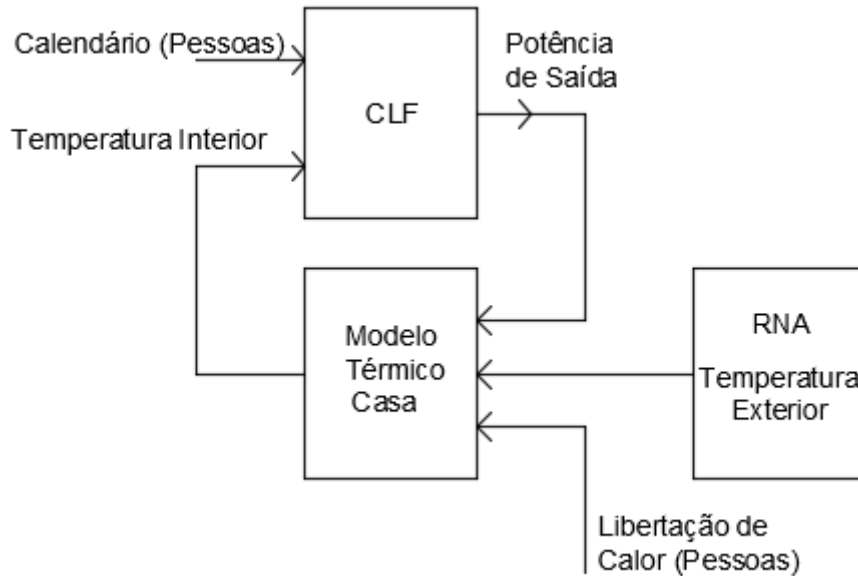


Figura 34- Esquema representativo do sistema de AVAC implementado

O CLF utiliza duas variáveis de entrada e uma de saída, como apresentado na Figura 35:

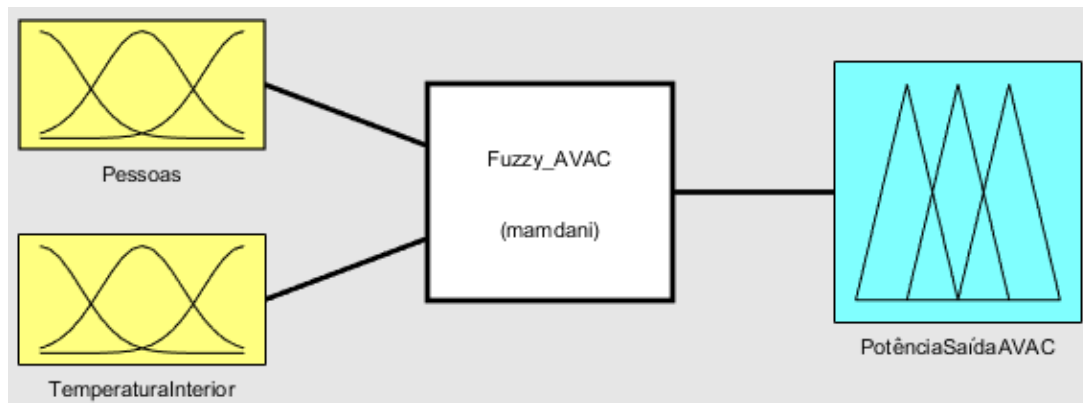


Figura 35- Esquema representativo do CLF para controle da potência de saída do AVAC

Para atuar no valor da potência de saída do AVAC foi definida uma variável que representa o número de pessoas no interior da habitação. A variável “Pessoas” tem um universo de discurso definido entre [0,20], que representam o número máximo estipulado de pessoas que estão simultaneamente na habitação. São utilizadas quatro funções de pertinência que representam o número de pessoas na habitação, como apresentado na Figura 36.

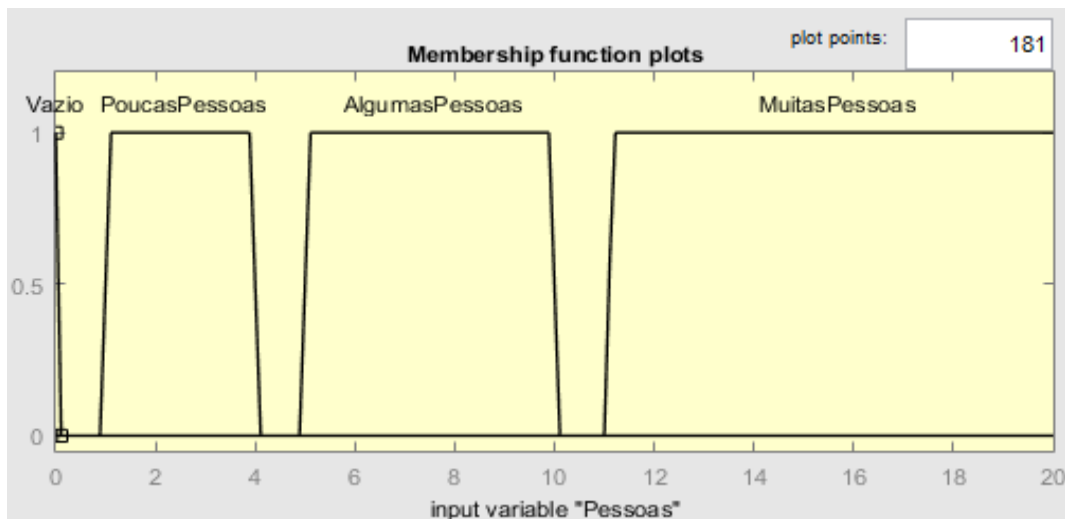


Figura 36- Variável de entrada referente ao número de pessoas na habitação

A segunda variável de entrada representa a temperatura interior da habitação e tem um universo de discurso definido entre [0,40]. São utilizadas três funções de pertinência para a caracterizar, como apresentado na Figura 37.

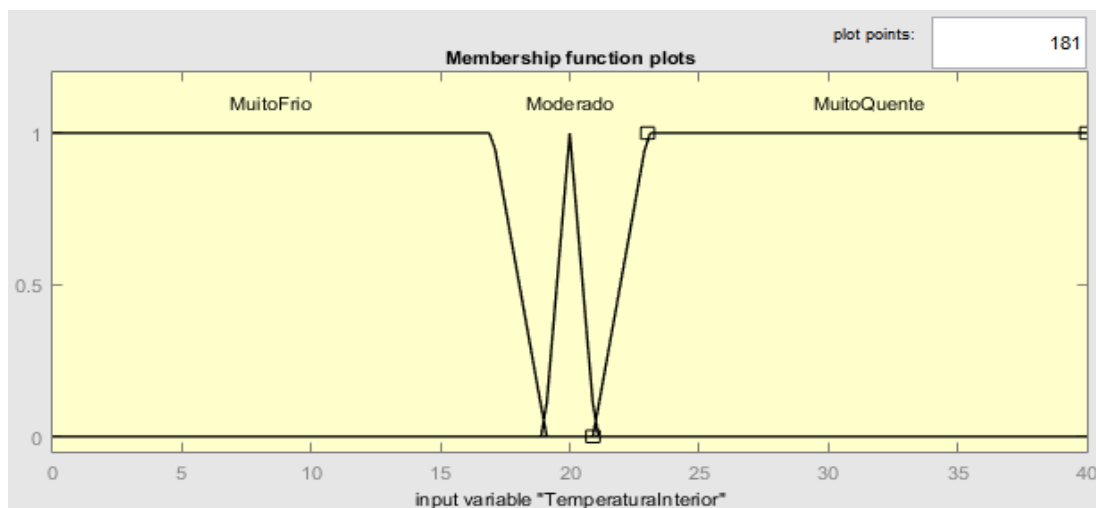


Figura 37- Variável de entrada referente à temperatura no interior da habitação

Neste modelo o *Set-Point* é definido pela função de pertinência “Moderado”.

A quantidade máxima de energia calorífica que pode ser libertada pelo sistema de AVAC deve é limitada pelas características técnicas do equipamento

escolhido para a habitação. Neste estudo utilizou-se um equipamento cujas características são [55]:

Potência (aquecimento) – 29300 Btu

Potência (arrefecimento) – 23900 Btu

Estas especificações caracterizam o universo de discurso da variável de saída “PotênciaSaídaAVAC”, em que as potências de valor negativo representam arrefecimento e as de valor positivo representam aquecimento. Foram utilizadas sete funções de pertença para caracterizar a potência térmica entregue à habitação, como apresentado na Figura 38.

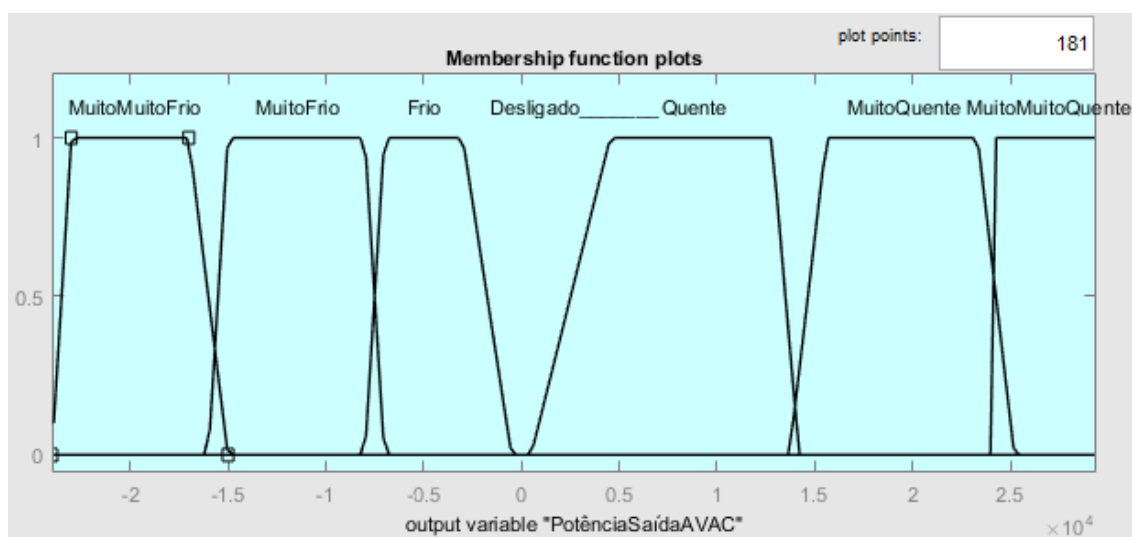


Figura 38- Variável de saída referente à potência de saída do AVAC

Após fuzificação das variáveis é necessário definir as regras do CLF. As regras a implementar são apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20- Lista de regras do CLF para obtenção da potência de saída do AVAC

Potência de saída do AVAC		Temperatura Interior		
Pessoas		MuitoFrio	Moderado	MuitoQuente
	Vazio	Desligado	Desligado	Desligado
	Poucas Pessoas	MuitoMuitoQuente	Desligado	MuitoMuitoFrio
	Algumas Pessoas	MuitoMuitoQuente	Frio	MuitoMuitoFrio
	Muitas Pessoas	MuitoMuitoQuente	Frio	MuitoMuitoFrio

Da Tabela 20 podem obter-se regras como:

“Se o número de pessoas for vazio e a temperatura interior for muito fria, então a potência de saída deve ser desligada”.

“Se o número de pessoas for algumas pessoas e a temperatura interior for muito quente, então a potência de saída do AVAC deve ser muito muito fria”.

Com o controlador *fuzzy* devidamente caracterizado implementou-se um cenário de Inverno para ser possível avaliar o sistema através dos resultados obtidos.

Como é apresentado no Anexo 1.1, o sistema de AVAC antes da implementação do controlador funcionava entre as 18h e as 24h, no entanto com a introdução da RNA em conjunto com a calendarização referente à entrada dos habitantes, é agora possível fazer um pré-aquecimento do espaço que é iniciado 1h antes da entrada dos habitantes. Considerou-se uma temperatura interior inicial de 15°C e uma temperatura exterior de aproximadamente 10°C. No cenário em estudo considerou-se quatro habitantes com uma libertação de calor média de 500 btu (Tabela 14).

Na Figura 39 apresentam-se os resultados referentes à variação da temperatura interior após implementação do controlador.

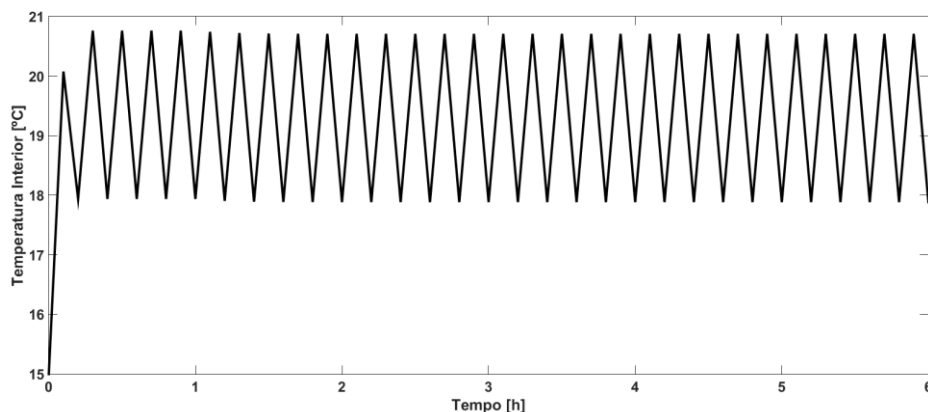


Figura 39- Resultados referentes à variação da temperatura interior com controlo fuzzy

A implementação deste controlador teve como objetivo manter a temperatura em torno da referência de 20°C, no entanto, para minimização da energia utilizada foi definida uma margem de 1°C, isto é, em situações de

aquecimento a temperatura deve estar em torno dos 19°C, em caso de arrefecimento em torno dos 21°C.

A potência de saída do AVAC é proporcional à quantidade de energia calorífica que o sistema necessita de entregar ao espaço. Na Figura 40 apresentam-se os valores após implementação do controlo *fuzzy*.

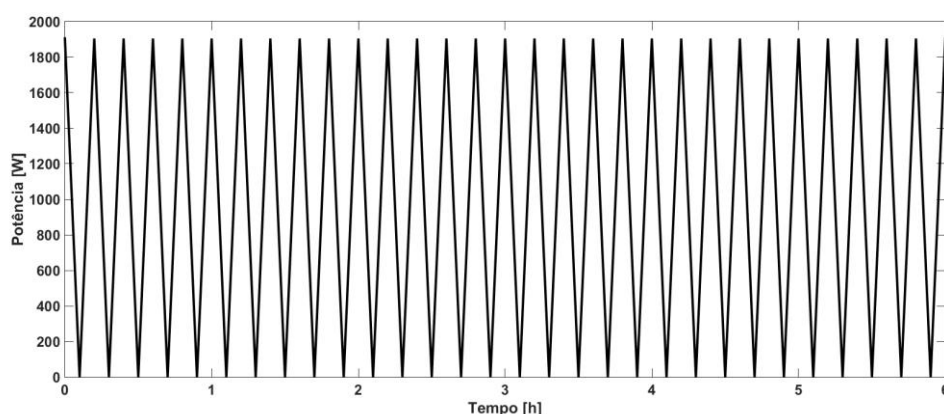
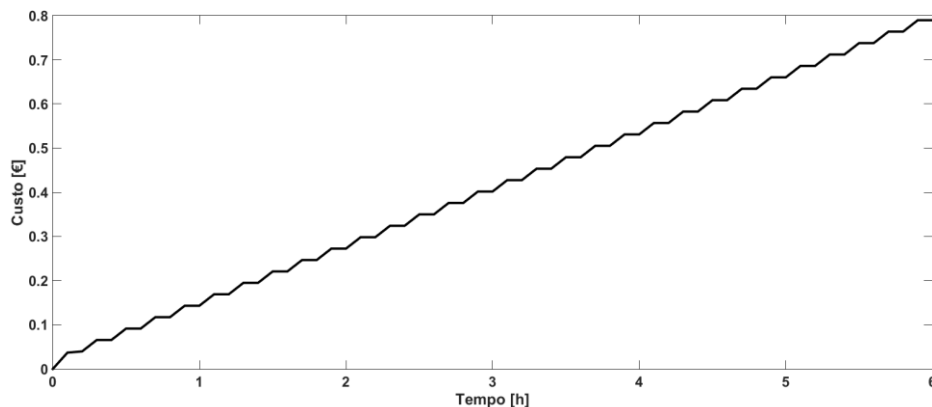


Figura 40- Resultados referentes à variação da potência elétrica com controlo *fuzzy*

Analisando os resultados referentes à potência elétrica consumida pelo AVAC, verifica-se que com a implementação do controlador *fuzzy*, a característica de transição “verdadeiro-falso” da lógica *fuzzy* permite que o equipamento funcione a potências mais baixas quando a temperatura se encontra perto da referência. Com este modelo, é possível fazer o aproveitamento de todos os níveis de potência do sistema de AVAC ao invés deste funcionar apenas à potência máxima quando é ligado, razão pela qual os resultados apresentam uma forma de onda triangular.

Como os modelos implementados fazem o balanço de temperatura considerando apenas potência térmica, foi utilizado um *Coefficient of Performance* (COP) de 4,3 [55]. O COP indica que 1 kWh de energia elétrica resulta em 4,3 kWh de energia térmica.

De forma a determinar quais os custos que incorrem da utilização do AVAC durante seis horas, é calculada a área total da potência elétrica ao longo do período de tempo de funcionamento e multiplica-se pelo preço da energia (0,1942 €/kWh). Desta forma, obteve-se a Figura 41, onde se apresenta o custo diário de utilização do AVAC para um dia semelhante ao do cenário em estudo após implementação do controlador.



*Figura 41- Resultado referente ao custo de energia elétrica com controle fuzzy*

Com a implementação do controlador inteligente obteve-se um custo por cada seis horas de funcionamento de 0,78 €.

Para determinar a performance deste controlador, foram comparados estes resultados com os do modelo disponível no MATLAB, previamente utilizado na obtenção do perfil de carga do AVAC apresentado na Figura 11. Verificou-se, no entanto, que estes cenários não eram comparáveis, visto que, no modelo sem controlador é utilizada a temperatura de saída do ar do sistema de AVAC ao invés da potência térmica em Btu. O COP do modelo inicial não é conhecido, portanto, não é possível relacionar as potências térmica e elétrica de modo a calcular a redução de custos devido à implementação do modelo com controlador.

De forma a implementar um modelo comparável e cujo funcionamento seja idêntico ao inicial, foi substituída a temperatura de saída do AVAC pela potência térmica em Btu. A potência térmica considerada é igual à potência máxima utilizada pelo modelo com controlador que é definida pelas características técnicas do equipamento [55]. O COP é também igual permitindo comparar diretamente a performance dos dois modelos.

Após implementação do modelo sem controlador obteve-se a variação de temperatura apresentada na Figura 42.

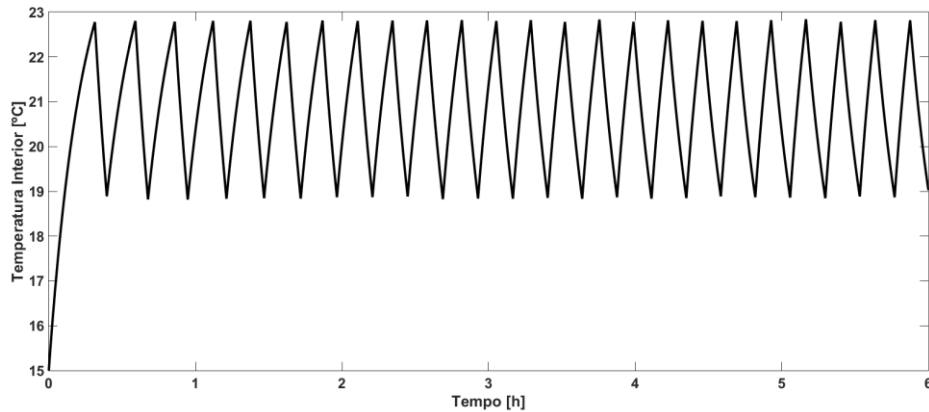


Figura 42- Resultados referentes à variação da temperatura interior sem controlo fuzzy

A variação da temperatura interior sem controlador não permite que esta se aproxime de um limite inferior da referência, chegando a aproximar-se dos 23°C, esta ineficiência reflete-se na energia elétrica consumida. Na Figura 43 apresentam-se os resultados referentes à potência elétrica consumida ao longo das seis horas.

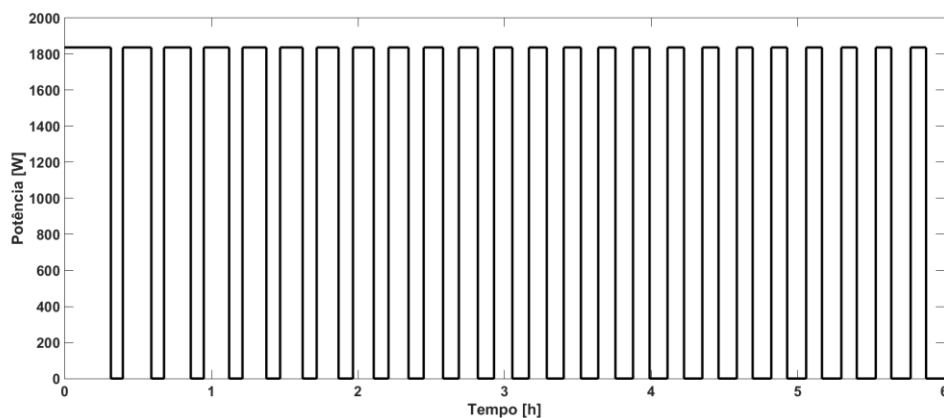


Figura 43- Resultados referentes à variação da potência elétrica sem controlo fuzzy

Como é possível verificar na Figura 43, a utilização do termostato associada à utilização permanente da potência máxima disponível faz com que nunca sejam utilizados valores intermédios de potência no controlo da temperatura interior, sendo esta ineficiência representada por uma forma de onda retangular.

O custo de associado à utilização do modelo sem controlador apresenta-se na Figura 44.

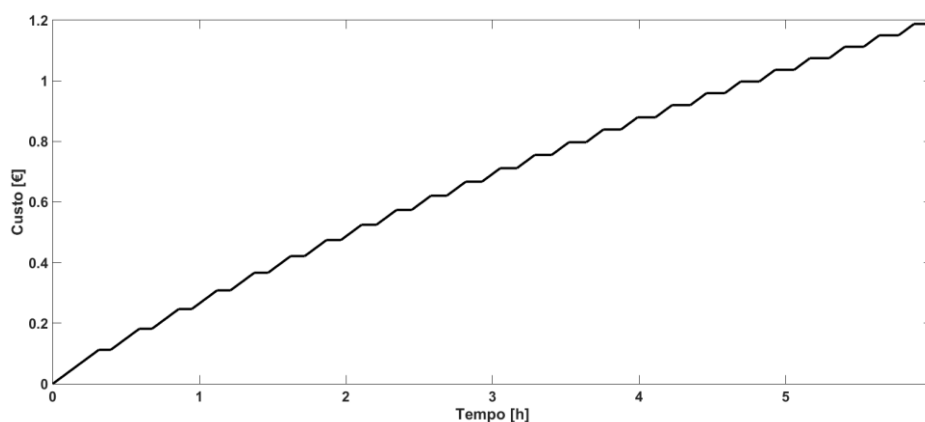


Figura 44- Resultado referente ao custo de energia elétrica sem controlo fuzzy

Neste modelo por cada seis horas de funcionamento o custo é de 1,19 €.

A implementação do controlador inteligente resulta numa redução de aproximadamente 35% no custo de energia elétrica, representando uma poupança de aproximadamente 55 € a cada seis meses. Estes resultados são referentes a uma utilização de apenas seis horas diárias, caso aplicado a equipamentos de maior potência e durante intervalos de tempo superiores é possível obter uma redução de custos mais significativa.

### 4.3.2 Energias Renováveis e Controlo do Armazenamento de Energia

Com a quantidade de recursos utilizados na produção de energia elétrica prevê-se que o fim dos recursos finitos esteja cada vez mais próximo, sendo desta forma relevante que sempre que possível os consumidores utilizem fontes de energias renováveis para satisfazer as suas necessidades energéticas.

A utilização de energias renováveis para autoconsumo permite reduzir a quantidade de energia consumida da rede e conseqüentemente numa redução de custos energéticos. Por este motivo considera-se neste trabalho que o edifício possui no telhado dez painéis solares monocristalinos bifaciais de 270 W cada com as dimensões de 1660 x 992 mm [56].

A energia fotovoltaica provém da transformação de energia solar em energia elétrica, o que implica que apenas exista produção em períodos com luz solar. Num dia de Inverno o nascer e pôr do Sol acontecem entre as 7 e as 18h. No entanto, como nem todas as horas têm luz solar emitida suficiente para haver produção de energia considera-se que a produção acontece apenas durante oito horas diárias.

O painel solar bifacial em questão [56] pode ter um aumento de potência de até 30%, caso esteja a ser utilizada a totalidade da sua capacidade de captura de energia pelo painel traseiro, podendo um painel de 270 W produzir 351 W. No cenário de Inverno em estudo considera-se que existe uma produção de 60% da potência máxima, existindo uma perda de 20% relativa ao painel traseiro e 20% no dianteiro.

Analisando o calendário do Anexo 1.1 é possível verificar que os habitantes não estão na habitação na maioria das horas em que existe produção solar. De forma a maximizar o aproveitamento da energia fotovoltaica produzida é considerada uma solução com baterias para armazenamento de energia quando esta se encontra a um preço mais baixo, ou então quando existe radiação solar, para que ser utilizada quando necessária.

Atualmente existem cada vez mais as soluções com baterias, uma vez que já começam a tornar-se investimentos rentáveis, devido ao espaço que ocupam e ao preço que se tem vindo a reduzir.

No diagrama de carga apresentado na Figura 13 (página 32) é possível observar que nas horas em que os habitantes se encontram na habitação são utilizados aproximadamente 53,0 kW, em que 24 kW são referentes ao carregamento do veículo elétrico.

As baterias consideradas neste trabalho são as *Powerwalls* da marca Tesla, que permitem uma capacidade de armazenamento de 13,5 kW cada. Estas podem ser ligadas até dez unidades se necessário e estão desenvolvidas tendo em consideração a implementação conjunta com painéis fotovoltaicos [26]. As unidades de armazenamento consideradas têm uma potência nominal fornecida de 5 kW e uma potência de pico de 7 kW cada, sendo que estas devem

ser instaladas em paralelo para que a potência máxima fornecida possa ser superior.

Para realizar o controlo e gestão do carregamento das baterias, através da energia fotovoltaica ou através da energia da rede nas horas em que esta é mais barata, é desenvolvido um controlador baseado em CLF.

O CLF implementado possui três variáveis de entrada e uma de saída, como apresentado na Figura 45. Note-se que os nomes dados às variáveis e às funções de pertinência utilizadas podem ser idênticos, mas em nada se relacionam com as utilizadas no CLF apresentado em 4.2.2.

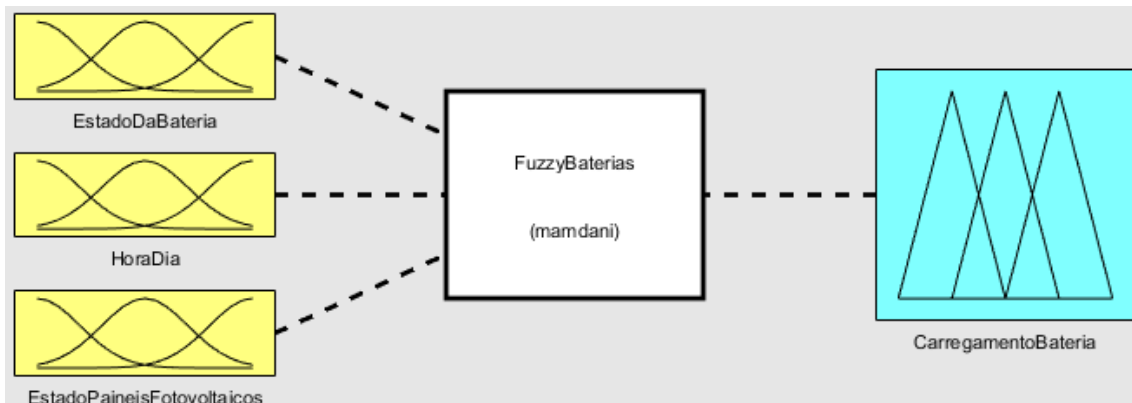


Figura 45- Esquema representativo do CLF para gestão do carregamento das baterias

A variável “EstadoDaBateria” tem um universo de discurso definido entre  $[0,1]$ , sendo que estes representam o nível de carga da bateria num determinado instante. São utilizadas duas funções de pertinência que caracterizam o estado de carga da bateria, em que “Descarregada” significa que a bateria necessita de carga e “Carregada” significa que não necessita. Até aos 80% de carga total considera-se a bateria está descarregada como mostra a Figura 46.



Figura 46- Variável de entrada referente ao estado da bateria

Para efetuar a gestão dos momentos em as baterias devem ser carregadas, foram implementadas três funções de pertença que representam três alturas do dia. O universo de discurso desta variável está definido entre [0;24], como apresentado na Figura 47.

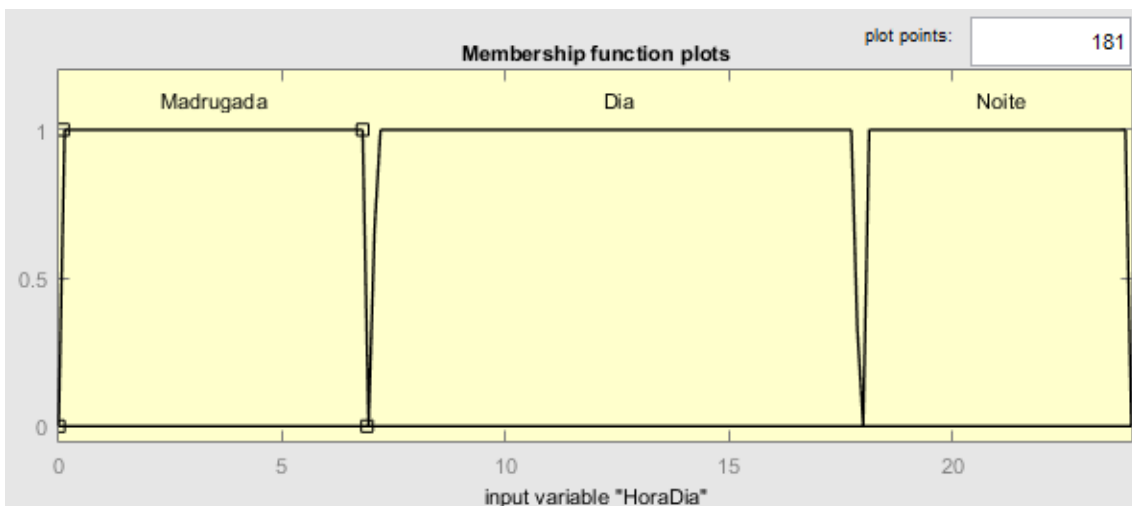


Figura 47- Variável de entrada referente à hora do dia

De forma a determinar se a energia a utilizar para carregar as baterias é proveniente da rede ou dos painéis fotovoltaicos é necessário conhecer os momentos em que os últimos estão ou não a produzir, visto que, estes são a

fonte prioritária de energia. Para tal, são necessárias duas funções de pertinência definidas num universo de discurso entre  $[-0,1;1,1]$ , como apresentado na Figura 48.

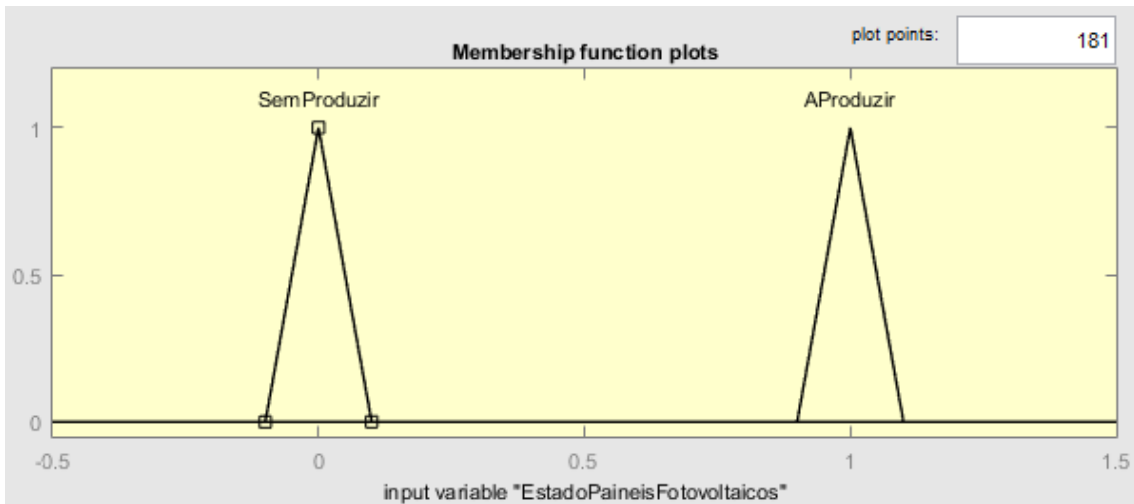


Figura 48- Variável de entrada referente ao estado dos painéis fotovoltaicos

Após verificar o estado dos painéis fotovoltaicos e a hora do dia em questão, é necessário determinar se a bateria deve ou não ser carregada e por que fonte de energia. Para tal, estrutura-se uma variável de saída que utiliza três funções de pertinência num universo de discurso entre  $[-0,1;2,1]$ , como apresentado na Figura 49.

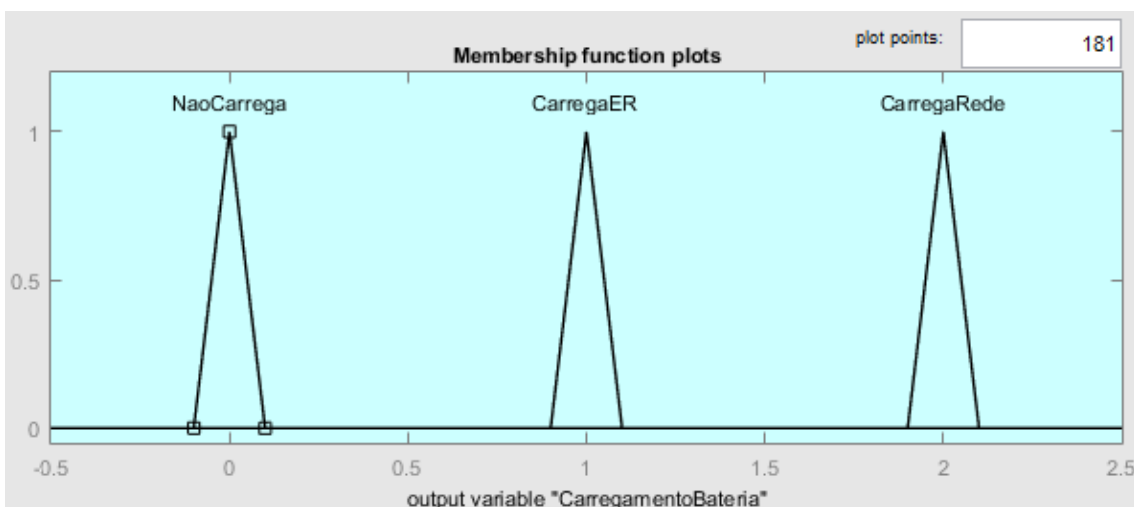


Figura 49- Variável de saída referente ao carregamento das baterias

Após fuzificação das variáveis é necessário definir as regras do CLF. As regras a implementar são apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21- Lista de regras do CLF para gestão do carregamento das baterias

Carregamento Baterias		Hora do Dia			Estado dos painéis fotovoltaicos
		Madrugada	Dia	Noite	
Estado da Bateria	Carregada	NãoCarrega	NãoCarrega	NãoCarrega	<b>AProduzir</b>
		NãoCarrega	NãoCarrega	NãoCarrega	<b>SemProduzir</b>
	Descarregada	CarregaRede	NãoCarrega	NãoCarrega	<b>SemProduzir</b>
		NãoCarrega	CarregaER	NãoCarrega	<b>AProduzir</b>

Da Tabela 21 podem obter-se regras como:

“Se o estado da bateria for carregado, a hora do dia for de madrugada e o estado dos painéis fotovoltaicos a produzir, então não carregar baterias”

“Se o estado da bateria for descarregado, a hora do dia for de madrugada e o estado dos painéis fotovoltaicos sem produzir, então carregar bateria da rede”

Para efetuar uma análise do impacto da produção e armazenamento das energias renováveis é necessário analisar a quantidade de energia consumida à rede antes e após implementação do CLF.

Para aplicação da medida considera-se os dez painéis solares bifaciais de 270 W cada perfazendo um total de 2700 W de potência instalada e duas *Powerwalls* com capacidade de armazenamento de 13,5 kW, instaladas em paralelo para um total de 27 kW de armazenamento, com uma potência nominal de 10 kW.

Tendo em conta o diagrama de carga da Figura 13 (página 32) e fazendo uma aproximação ao consumo de energia por hora retira-se o diagrama de carga apresentado na Figura 50.

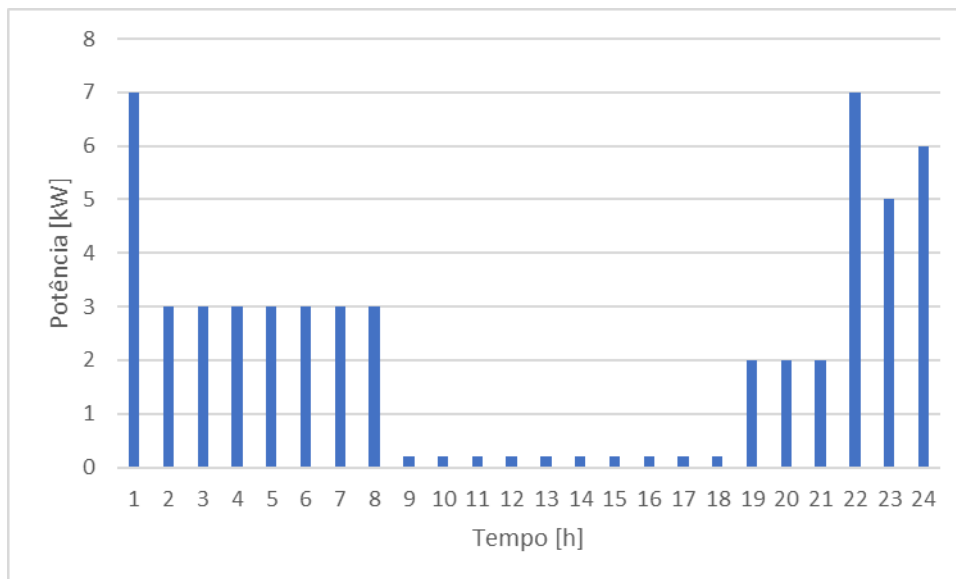


Figura 50- Aproximação ao diagrama de carga obtido para 1 dia de Inverno

O carregamento das baterias seria ideal se toda a energia armazenada fosse proveniente de uma fonte de energia renovável, no entanto, isso implicaria que fosse instalado um maior número de painéis o que incorreria numa área ocupada e um custo superior. A solução é então o carregamento das baterias utilizando fontes de energia renovável e energia da rede nas horas de custo mais reduzido. Em ambos os casos, considere-se que o carregamento é feito a potência constante durante oito horas.

No caso do carregamento com recurso à energia fotovoltaica como a potência instalada é de 3,51 kW contando com a característica bifacial do painel, e com uma utilização de 80% do painel dianteiro e 10% do traseiro, o carregamento é feito a 2,43 kWh, carregando um total de 19,44 kW. O carregamento utilizando energia da rede tem como objetivo completar a carga da bateria, visto que, após o carregamento com energia fotovoltaica ainda existem 7,56 kW de espaço de armazenamento livre. Este carregamento é efetuado num período de oito horas, representando um consumo de 0,945 kWh.

Na Figura 51 apresenta-se a calendarização escolhida para o carregamento das baterias, tanto com energia da rede como dos painéis fotovoltaicos e as horas em que a habitação está a utilizá-las como fonte de alimentação.

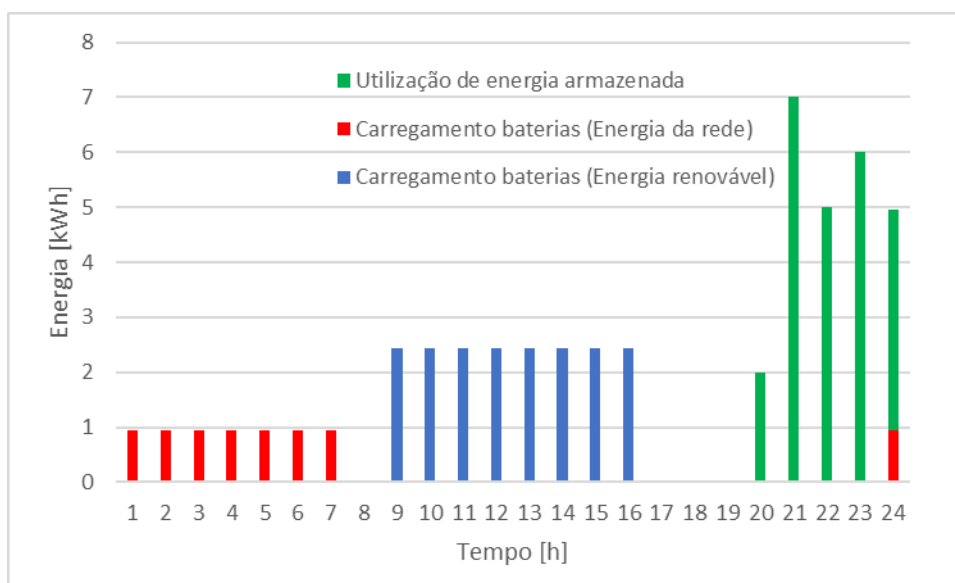


Figura 51- Calendarização do carregamento e utilização da energia armazenada

A calendarização teve em conta as horas em que o custo da energia da rede é mais reduzido, bem como as oito horas de luz solar durante o dia. A utilização da energia armazenada foi calendarizada de modo a que o pico máximo de consumo permitisse a redução da potência contratada para 6,9 kVA.

O carregamento do veículo elétrico é realizado nas horas em que a bateria está a carregar da rede de forma a minimizar os custos.

Na Figura 52 apresenta-se o novo diagrama de carga, tendo em conta a utilização do armazenamento de energia.

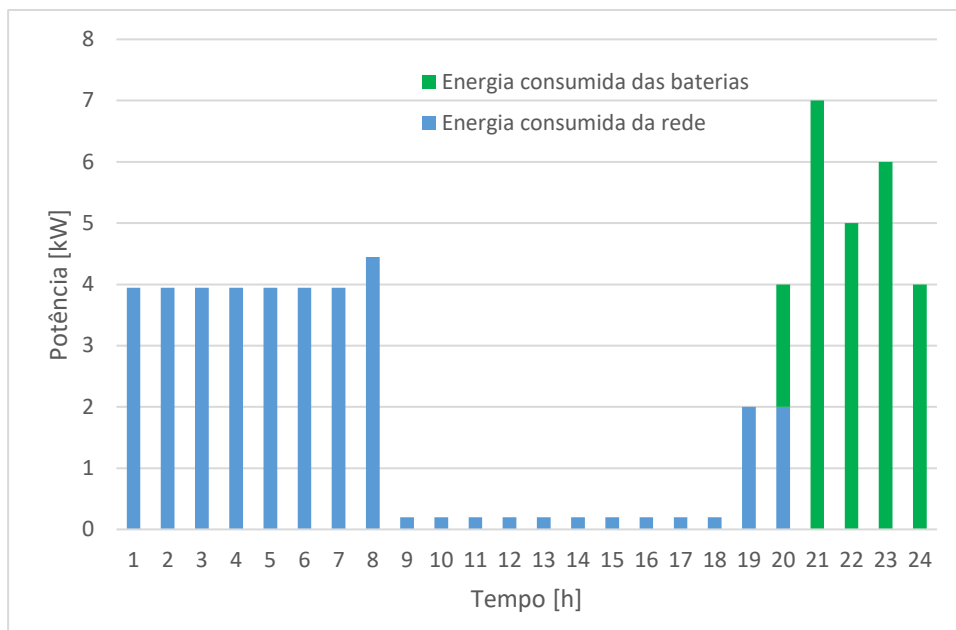


Figura 52- Diagrama representativo do consumo de energia às diferentes fontes

Analisando a Figura 52 é possível observar que o pico máximo de consumo de energia à rede passou a ser 5,45 kW o que, nesta situação, permite ao utilizador mudar a potência contratada de 10,35 kVA para 6,9 kVA. A redução na potência contratada implica uma redução no custo de energia, como é possível verificar nas Tabelas 2 e 3.

Na Figura 53 apresenta-se uma comparação do custo de energia para 1 dia com a implementação do armazenamento de energia e redução da potência contratada. Este dia representa um caso em que os equipamentos estejam em funcionamento de acordo com a calendarização do Anexo 1.1.

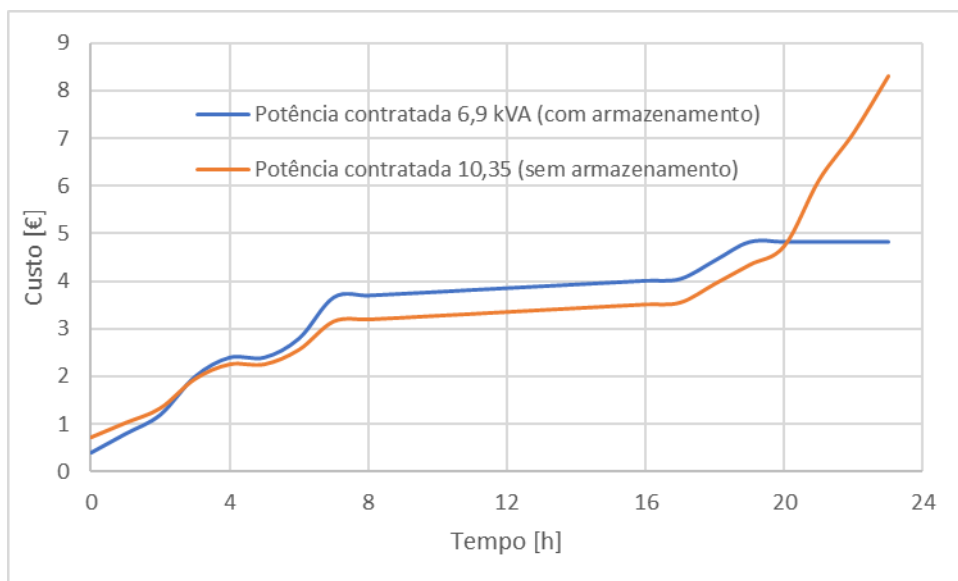


Figura 53- Comparação de custos com e sem armazenamento para o dia de Inverno em estudo

A redução da potência contratada e a aplicação da medida de armazenamento e produção de energia fotovoltaica permitem uma redução de 72% por cada dia semelhante ao estudado. Existe também uma redução de 4,39€ mensais relativa à parcela fixa da potência contratada (Tabela 2).

Tendo em conta as horas em que é feito o carregamento das baterias é também possível analisar a viabilidade da passagem para a tarifa tri-horária [44]. Na Figura 54 apresenta-se a comparação dos custos para um dia da utilização de ambas as tarifas para a potência contratada de 6,9 kVA.

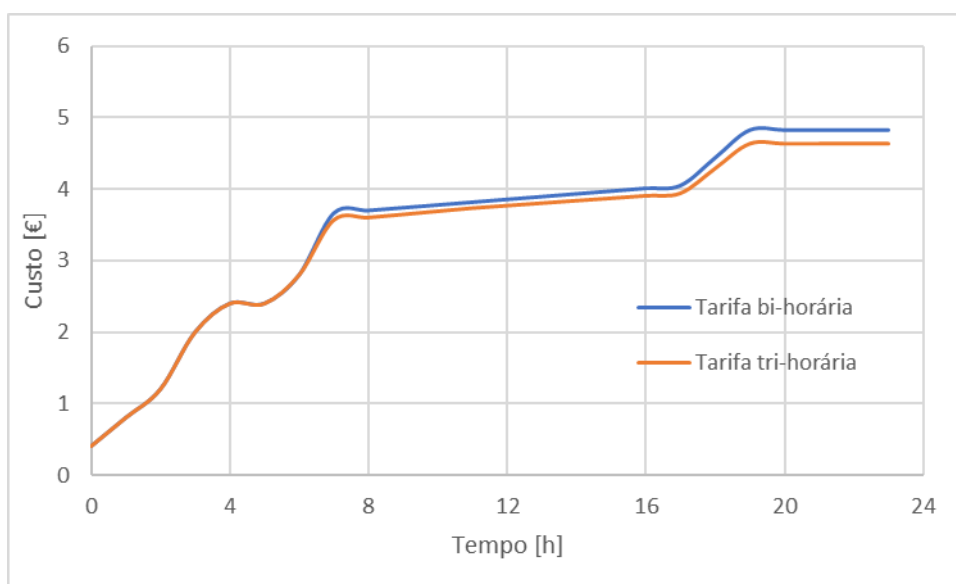


Figura 54- Comparação de custos entre a tarifa bi e tri-horária para o dia de Inverno em estudo

A mudança da tarifa tri-horária permite uma redução de aproximadamente 0,20 € por cada dia semelhante ao estudado, perfazendo um total de 26,4 € a cada seis meses.

A redução da potência contratada, a redução do preço associado à parcela variável e a mudança da tarifa resultam numa poupança de 514,7€ a cada seis meses. Considerando a instalação de dez painéis cada um com um preço aproximado de 500€, espera-se uma recuperação do investimento ao fim de cinco anos.

## 4.4 Conclusão

A implementação do sistema de controlo inteligente veio garantir o aumento do conforto dos habitantes, o aumento da eficiência energética da habitação e a redução da utilização de combustíveis fósseis.

O sistema de controlo, apresentado na Figura 1, permitiu as reduções de custos com energia elétrica descritos na Tabela 22. Os resultados apresentados são referentes a seis meses de Inverno apenas em dias úteis.

*Tabela 22- Redução de custos após implementação do sistema de controlo*

<b>Medida aplicada</b>	<b>Redução de Custos a seis meses</b>
Incandescente e fluorescentes para LED	84%
Controlo de Luminosidade e Iluminação	71%
Controlo de Cargas	100%
Controlo AVAC	35%
Energias Renováveis e Controlo do Armazenamento	72%

Note-se que os valores apresentados na Tabela 22 são referentes a dias de Inverno idênticos ao calendarizado no Anexo 1.1. Caso os equipamentos sejam ligados a horas diferentes ou com durações de tempo diferentes os valores podem-se alterar, no entanto, não serão superiores aos valores sem implementação do controlador. Relativamente ao controlo do AVAC a diferença é considerável quando analisada a quantidade de energia utilizada por este

sistema. Obteve-se também uma melhoria no conforto térmico e automatização do sistema de comando.

Através da utilização de medidas de armazenamento foi possível reduzir a potência contratada de 10,35 kVA para 6,9 kVA e a tarifa foi alterada de bi-horária para tri-horária.

Com a alteração destes termos contratuais possibilitou-se as reduções de 26,3 € após alteração da potência contratada e 26,4 € após mudança da tarifa a cada seis meses.

Para o cenário em estudo foram utilizados alguns dos equipamentos mais comuns numa habitação, no entanto, a maioria dos habitantes têm outros equipamentos ligados que caso tivessem sido considerados poderiam aumentar a quantidade de energia poupada pela utilização do sistema de controlo.

Os controladores implementados utilizaram todos lógica *fuzzy*, fator este que também influencia os valores finais, dado que depende da forma como o programador define os universos de discurso e as funções de pertença de cada uma das variáveis intervenientes.



# Capítulo V

## 5 Conclusões

**Resumo:**

*Neste capítulo apresentam-se as conclusões finais da implementação do sistema de controlo inteligente desenvolvido ao longo do trabalho.*

Neste trabalho foi feito o estudo de uma habitação que não tinha qualquer tipo de medidas aplicadas ao nível da eficiência energética ou de recurso a fontes de energias renováveis.

Após elaborar o diagrama de carga, apresentado na Figura 13 (página 32), é evidente que existem problemas associados aos picos de energia consumidos.

Os picos de energia não se refletem só na potência contratada, mas também na gestão da REE que tem maior dificuldade em garantir continuidade de serviço caso todos os seus clientes tivessem consumos elevados à mesma hora.

O aproveitamento indevido dos recursos de iluminação natural associada à utilização de equipamento de iluminação artificial obsoleto, provocam também custos em energia elétrica desnecessários.

A negligência dos habitantes ao deixarem os seus equipamentos conectados às tomadas elétricas, é também um dos fatores que contribui para a diminuição da eficiência das habitações.

Os sistemas de AVAC mais comuns utilizam apenas a interpretação humana do que é o calor que pretendem no espaço, utilizando um termostato de forma a manter a temperatura em torno do desejado.

Estas problemáticas levaram ao desenvolvimento de um controlador, composto por cinco subsistemas capazes de reduzir custos e aumentar o conforto dos habitantes, tendo sempre como objetivo primário a minimização da utilização de energia, sem comprometer nenhum serviço.

As medidas implementadas pelas quais o controlador foi responsável foram:

- Controlo de Iluminação
- Controlo de luminosidade
- Controlo de cargas
- Controlo do AVAC

- Controlo o armazenamento de energia

Estes subsistemas foram implementados utilizando CLF para tomada de decisões e uma RNA capaz de prever a temperatura no exterior da habitação.

O CLF, sendo intuitivo e de aplicação linguística, foi importante para conseguir implementar uma gestão mais rigorosa e um ajuste mais cuidado de todos os subsistemas controlados pelo controlador.

As medidas de controlo de iluminação e de luminosidade com o seu funcionamento conjunto permitiram a maximização da utilização da luz natural, sendo esta, sempre que necessário, complementada com luz artificial de potência regulada.

O controlo de cargas utilizou a capacidade de medição das tomadas inteligentes o que permitiu que os habitantes não necessitassem de desconectar os equipamentos das tomadas de energia sempre que estes não estivessem a ser utilizados.

O controlo do AVAC permitiu não só uma automatização deste sistema, ligando e desligando automaticamente, mas também fazer um aquecimento prévio do espaço de modo a que este já esteja à temperatura desejada quando os habitantes entram.

A utilização de uma RNA para previsão da temperatura exterior na hora seguinte possibilitou que pudesse ser efetuado um aquecimento prévio do espaço, e também permitiu uma temperatura interior sem flutuações e em torno da referência definida, aumentando assim o conforto dos habitantes.

O controlador implementado teve impacto direto na fatura energética, apresentando valores de redução de custos que variam entre os 70%-100% (Tabela 22). Estes valores são referentes aos cenários estudados a par com a calendarização apresentada no Anexo 1.1. Quanto ao AVAC os valores obtidos foram de aproximadamente 35%, no entanto, como este é um sistema que utiliza uma maior quantidade de energia elétrica esta poupança reflete-se num ganho significativo para uma implementação de apenas seis horas diárias.

O impacto destas medidas é também considerável ao nível da REE, visto que, o armazenamento de energia permitiu um “alisamento” do diagrama de

carga diário, medida esta que generalizada para um número considerável de clientes permitiria um abaixamento considerável nas alturas em que todos os clientes se encontram a consumir da rede.

Como consequência da utilização do controlador, em particular das medidas de armazenamento de energia foi possível decidir os momentos em que os habitantes estariam a consumir das baterias ou da rede, bem como os momentos em que devia fazer o armazenamento de energia e de que fonte. Esta gestão permitiu a redução da potência contratada e da tarifa horária diminuindo o preço da energia.

O sistema implementado permite aos utilizadores ter acesso ao controlador por forma a realizarem as alterações que julguem necessárias para o seu bem-estar, sendo estas referentes a iluminação, abertura ou fecho de estores, controlo de tomadas ou troca de fonte de energia. O sistema poderia ainda ser complementado com utilização de aplicação para *Smart-Phone* para controlo total à distância do que se passa na habitação.

## **Sugestões de trabalho futuro**

No decorrer do desenvolvimento desta dissertação foram utilizadas soluções que se adequavam ao problema em estudo e ao espaço temporal disponível para a realização desta. Será então interessante proceder ao desenvolvimento de estudos numa linha de investigação que vá ao encontro dos objetivos desta dissertação e que permita dar continuidade ao trabalho desenvolvido. Neste sentido são propostos os seguintes tópicos:

Desenvolvimento de controladores inteligentes para melhoria da eficiência energética em edifícios que utilizem diferentes ferramentas de forma a comparar a sua performance com a do controlador desenvolvido nesta dissertação.

Estudo económico e de viabilidade da aplicação do controlador desenvolvido ao longo desta dissertação e sugestões de melhoramento do mesmo.

Conciliar a aplicação do controlador inteligente com a interação com aplicativos para *Smart-Phones* de forma a aumentar a facilidade de controlo e de gestão em tempo real de todos os processos que estão a ocorrer na habitação.

Aumento da área de aplicação do controlador para um cenário de maior escala, como o caso de um edifício ou de um local que tenha potências mais elevadas, e generalização para o estudo do impacto dos controladores inteligentes na fatura energética de uma localidade.

Estudo da influência e impacto da aplicação de controladores inteligentes e redução de picos de consumo inerentes da utilização de energias renováveis na rede de energia elétrica.



## Bibliografía

- [1] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, "A review on buildings energy consumption information," *Energy Build.*, vol. 40, no. 3, pp. 394–398, 2008.
- [2] I. Abdennadher, N. Khabou, I. B. Rodriguez, and M. Jmaiel, "Designing energy efficient Smart Buildings in ubiquitous environments," *Int. Conf. Intell. Syst. Des. Appl. ISDA*, vol. 2016–June, pp. 122–127, 2016.
- [3] EDI, "Smart Buildings of the future," 2016. [Online]. Available: <http://ediltd.com/smart-buildings-of-the-future>. [Accessed: 06-Feb-2017].
- [4] M. G. Patterson, "What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues," *Energy Policy*, vol. 24, no. 5, pp. 377–390, 1996.
- [5] T. Weng and Y. Agarwal, "From Buildings to Smart Buildings- Sensing and Actuation to Improve Energy Efficiency," *IEEE Des. Test Comput.*, vol. 29, no. 4, pp. 36–44, 2012.
- [6] X. Du, X. Qi, and C. Wang, "Determination of effective energy in buildings," *Autom. Logist. 2009. ICAL'09 IEEE international Conference.*, pp. 56–61, 2009.
- [7] I. Edition, *2009 ashrae @ handbook*, vol. 30329, no. 404. 2009.
- [8] ABB, "KNX." [Online]. Available: <https://www.knx.org/knx-en/index.php>. [Accessed: 20-Jul-2017].
- [9] IBM, "8 sensors to help you create a smart home." [Online]. Available: <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/sensors-smart-home/>. [Accessed: 05-Mar-2017].
- [10] V. L. Erickson, M. a. Carreira-Perpinan, and A. E. Cerpa, "OBSERVE: Occupancy-based system for efficient reduction of HVAC energy," *Proc. 10th ACM/IEEE Int. Conf. Inf. Process. Sens. Networks*, pp. 258–269, 2011.
- [11] Boss controls, "Uses for plug load control devices." [Online]. Available: <http://bosscontrols.com/7-uses-plug-load-control-devices/>. [Accessed: 15-Feb-2017].
- [12] E. M. Today, "Energy efficiency through plug load control." [Online]. Available: <https://www.energymanagertoday.com/energy-efficiency-through-plug-load-control-not-excitingbut-effective-0125396/>. [Accessed: 22-Apr-2017].
- [13] R. S. Carr, J. N. Dalzell, J. F. Holmes, and J. M. Hunt, "Home energy monitoring and control system," US4644320 A, Patente, 1987.
- [14] Boss controls, "Boss 220 Smart plug." [Online]. Available: <http://bosscontrols.com/product/boss-220-smart-plug/>. [Accessed: 20-Feb-2017].
- [15] E. Energy, "eve energy Switch and Power Meter." [Online]. Available: <https://www.elgato.com/en/eve/eve-energy>. [Accessed: 20-Feb-2017].
- [16] iDevices, "Switch." [Online]. Available: <https://store.iddevicesinc.com/iddevices-switch/>. [Accessed: 20-Feb-2017].
- [17] E. Government, "LED Lighting." [Online]. Available: <https://energy.gov/energysaver/led-lighting>. [Accessed: 16-Apr-2017].
- [18] C.-S. Engineer, "Saving energy with smart lighting." [Online]. Available: <http://www.csemag.com/single-article/saving-energy-with-smart-lighting/77adf087c3cf84e8f67727667712bc26.html>. [Accessed: 22-Apr-2017].
- [19] ABB, "What is KNX?" [Online]. Available: <https://www.knx.org/ie/knx/association/what-is-knx/index.php>. [Accessed: 11-Apr-2017].

- [20] P. Solar, "Tipos de painel solar fotovoltaico." [Online]. Available: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. [Accessed: 09-Jan-2017].
- [21] P. da Energia, "Tipos de painel fotovoltaico." [Online]. Available: <http://portaldaenergia.com/tipos-de-painel-fotovoltaico/>. [Accessed: 09-Jan-2017].
- [22] IAltEnergy, "Hybrid Solar Panels, heating and cooling." [Online]. Available: <http://www.ialtenergy.com/hybrid-solar-panels.html>. [Accessed: 03-Feb-2017].
- [23] DanSolar, "Hybrid Solar Panel." [Online]. Available: <http://dansolar.dk/en/hybrid-solar-panel/>. [Accessed: 03-Feb-2017].
- [24] ABB, "REACT." [Online]. Available: <http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/photovoltaic-energy-storage/react-3-6kw-4-6kw>. [Accessed: 05-Mar-2017].
- [25] Powervault, "Store your solar energy." [Online]. Available: <http://www.powervault.co.uk>. [Accessed: 07-Mar-2017].
- [26] Tesla, "Powerwall." [Online]. Available: [https://www.tesla.com/pt\\_PT/powerwall](https://www.tesla.com/pt_PT/powerwall). [Accessed: 14-Jun-2017].
- [27] ABB, "ABB Free at Home," 2017. [Online]. Available: <http://new.abb.com/low-voltage/launches/free-at-home>. [Accessed: 04-Feb-2017].
- [28] MediaNext Professional Information, "Smart Cities Buildings Spaces," 2016. [Online]. Available: <http://www.smartbuildings.pt/article.php?a=322>. [Accessed: 02-Feb-2017].
- [29] A. I. Dounis and C. Caraiscos, "Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment-A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 6–7, pp. 1246–1261, 2009.
- [30] S. A. Kalogirou, "Applications of artificial neural-networks for energy systems," *Appl. Energy*, vol. 67, no. 1–2, pp. 17–35, 2000.
- [31] R. Alcal, "Tuning Fuzzy Logic Controllers for Energy Efficiency Consumption in Buildings.," *EUSFLAT-ESTYLF Joint Conf.*, pp 1-4, 1999.
- [32] D. Kolokotsa, D. Tsiavos, G. S. Stavrakakis, K. Kalaitzakis, and E. Antonidakis, "Advanced fuzzy logic controllers design and evaluation for buildings' occupants thermal-visual comfort and indoor air quality satisfaction," *Energy Buildings.*, vol. 33, no. 6, pp. 531–543, 2001.
- [33] A. B. Sheperd and W. J. Batty, "Fuzzy control strategies to provide cost and energy efficient high quality indoor environments in buildings with occupant densities," *Building Serv. Eng. Res. Technol.*, vol. 26, no. 5, pp. 35–45, 2003.
- [34] P. Ying-guo, Hua-guang, Zhang, Dong, Kusong, Yusong-Gu, "A Simple Fuzzy Adaptive Control Method and Application in HVAC" *Fuzzy Systems Proceedings*, pp. 528–532, 1998.
- [35] T. Tobi, "A practical application of fuzzy control for an air-conditioning system," *Int. J. Approx. Reason.*, vol. 5, no. 3, pp. 331–348, 1991.
- [36] R. Lea and E. Dohmann, "An HVAC fuzzy logic zone control system and performance results," *Fuzzy Syst.*, no. 1, pp. 2175–2180, 1996.
- [37] S. Kajl, M.-A. Roberge, L. Lamarche, and P. Malinowski, "Evaluation of Building Energy Consumption Based on Fuzzy Logic and Neural Networks Applications," *Proceedings Clima 2000 Conf. held Brussels*, no. 1, pp. 1–10, 1997.
- [38] H. Zhang, A. Davigny, F. Colas, Y. Poste, and B. Robyns, "Fuzzy logic based energy management strategy for commercial buildings integrating photovoltaic and storage systems," *Energy Build.*, vol. 54, pp. 196–206, 2012.

- [39] H. X. Zhao and F. Magoulès, "A review on the prediction of building energy consumption," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 6, pp. 3586–3592, 2012.
- [40] I. Toshifumi, K. Masanori, and T. Akira, "A Hybrid Energy Storage With a SMES and Secondary Battery," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 15, no. 2, pp. 1915–1918, 2005.
- [41] Technische Universität Darmstadt, "Trace Base." [Online]. Available: <https://www.tracebase.org/>. [Accessed: 01-Feb-2017].
- [42] G. do Condomínio, "Carregamento Veículo Elétrico," 2009. [Online]. Available: <https://guiacondominio.com/pt/Eco-Condomínio/Veiculos-Elétricos-garagens>. [Accessed: 04-Feb-2017].
- [43] I. The MathWorks, "Thermal Model of a House." [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/simulink/examples/thermal-model-of-a-house.html?requestedDomain=www.mathworks.com>. [Accessed: 02-Feb-2017].
- [44] Energias de portugal S.A., "Opção Horária." [Online]. Available: <https://energia.edp.pt/particulares/apoio-cliente/opcao-horaria/>. [Accessed: 05-Sep-2017].
- [45] Y. Chiang, L. Chang, and F. Chang, "Comparison of static-feedforward and dynamic-feedback neural networks for rainfall – runoff modeling," *Journal of Hydrology*, vol. 290, pp. 297–311, 2004.
- [46] J. C. Quadrado, "Posicionadores eletromecânicos: Introdução à síntese de controladores inteligentes." Instituto Superior Técnico, 1994. Tese de Mestrado.
- [47] C. C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. II," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, vol. 20, no. 2, pp. 404–418, 1990.
- [48] S. Yasunobu and T. Hasegawa, "Evaluation of an automatic container crane operation system based on predictive fuzzy control," *Control-theory and advanced technology*, vol. 2, no. 3, pp. 419-432, 1986.
- [49] L. a. Zadeh, "Fuzzy sets," *Inf. Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [50] T. S. Dollar, "Light Bulb Showdown: LED vs. CFL vs. Incandescent." [Online]. Available: <https://www.thesimpledollar.com/the-light-bulb-showdown-leds-vs-cfls-vs-incandescent-bulbs-whats-the-best-deal-now-and-in-the-future/>. [Accessed: 02-Apr-2017].
- [51] Xrates, "Dollar to Euro." [Online]. Available: <http://www.x-rates.com/calculator/>. [Accessed: 10-Jul-2017].
- [52] C. U. Ergonomics, "Ambient Environment: Thermal Conditions." [Online]. Available: <http://ergo.human.cornell.edu/studentdownloads/DEA3500notes/Thermal/thcondnotes.html>. [Accessed: 28-May-2017].
- [53] R. Pereira, "Redes Elétricas Inteligentes," Universidade de Évora, 2015. Tese de Doutoramento.
- [54] F. A. Barata, J. M. Igreja, and R. Neves-silva, "Energy Management in Distributed Networks with Intermittent and Limited Renewable Resources," pp. 1–26.
- [55] Samsung, "Multi Sistema- Unidade Interior." [Online]. Available: <http://www.samsung.com/pt/business/business-products/system-air-conditioner/doméstico-multi-sistema/AJ070MCJ4EH/EU>. [Accessed: 12-Aug-2017].
- [56] Yinglisolar, "Panda Bifacial 60CL." [Online]. Available: <http://www.yinglisolar.com/en/products/monocrystalline/panda-bifacial-60cl/>. [Accessed: 21-Aug-2017].



# ANEXOS



## Anexo 1 – Calendários

**Resumo:**

*Neste anexo apresentam-se as calendarizações relativas ao funcionamento dos equipamentos e das entradas de pessoas no espaço.*

## Anexo 1.1 – Calendarização da utilização de equipamentos

Tabela A1.1- Calendário relativo à utilização dos equipamentos

	Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
<b>Divisão</b>	<b>Equipamento</b>																									
<b>Quarto1</b>	Candeeiro 1							X														X			X	
	Candeeiro 2							X														X			X	
	Candeeiro Teto																						X	X		
	Televisão	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	X	X	X	X	
	Computador	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	X	X	X	X	X	X	X
<b>Quarto2</b>	Candeeiro 1							X														X			X	
	Candeeiro 2							X														X			X	
	Candeeiro Teto																						X	X		
	Televisão	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	X	X	X	X	
	Computador	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	X	X	X	X	X	X	X
<b>Sala</b>	Candeeiro 1							X											X	X			X	X	X	
	Candeeiro Teto (5x)																					X	X			
	Televisão	\	\	\	\	\	\	X	X	\	\	\	\	\	\	\	\	\	X	X	X	X	X	X	X	
	Sistema de Som	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	X	X	\	\	\	\	\	
	Equipamento TV cabo	\	\	\	\	\	\	X	X	\	\	\	\	\	\	\	\	\	X	X	X	X	X	X	X	
<b>Cozinha</b>	Fogão							X											X	X	X					
	Frigorífico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	MLR	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	X	X	\	\	
	MSR	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	X	X
	MLL	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	X	\	\	\
	Candeeiro Fluorescente							X											X	X	X	X				
	Diversos																									
<b>Hall</b>	Candeeiro Teto (3x)																				X					
	Equipamento Internet	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Telefone	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Casa de Banho</b>	Candeeiro Teto							X	X													X		X	X	
	Lâmpada Fluorescente																			X						
<b>Garagem</b>	Carregamento VE	X	X	X	X	X	X	X																	X	
	AVAC																		X	X	X	X	X	X	X	
	<b>Horas</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	

X – Funcionamento / - Standby

## Anexo 2 – Tarifas

**Resumo:**

*Neste anexo apresentam-se as tarifas bi-horária e tri-horária utilizadas ao longo deste trabalho.*

## Anexo 2.1 – Tarifa bi-horária

Neste anexo apresenta-se a distribuição das horas de vazio e fora de vazio na tarifa bi-horária para consulta do preço de energia.



Figura A2.1 – Tarifa bi-horária

## Anexo 2.2 – Tarifa tri-horária

Neste anexo apresenta-se a distribuição das horas de vazio, ponta e cheia na tarifa tri-horária para consulta do preço de energia.

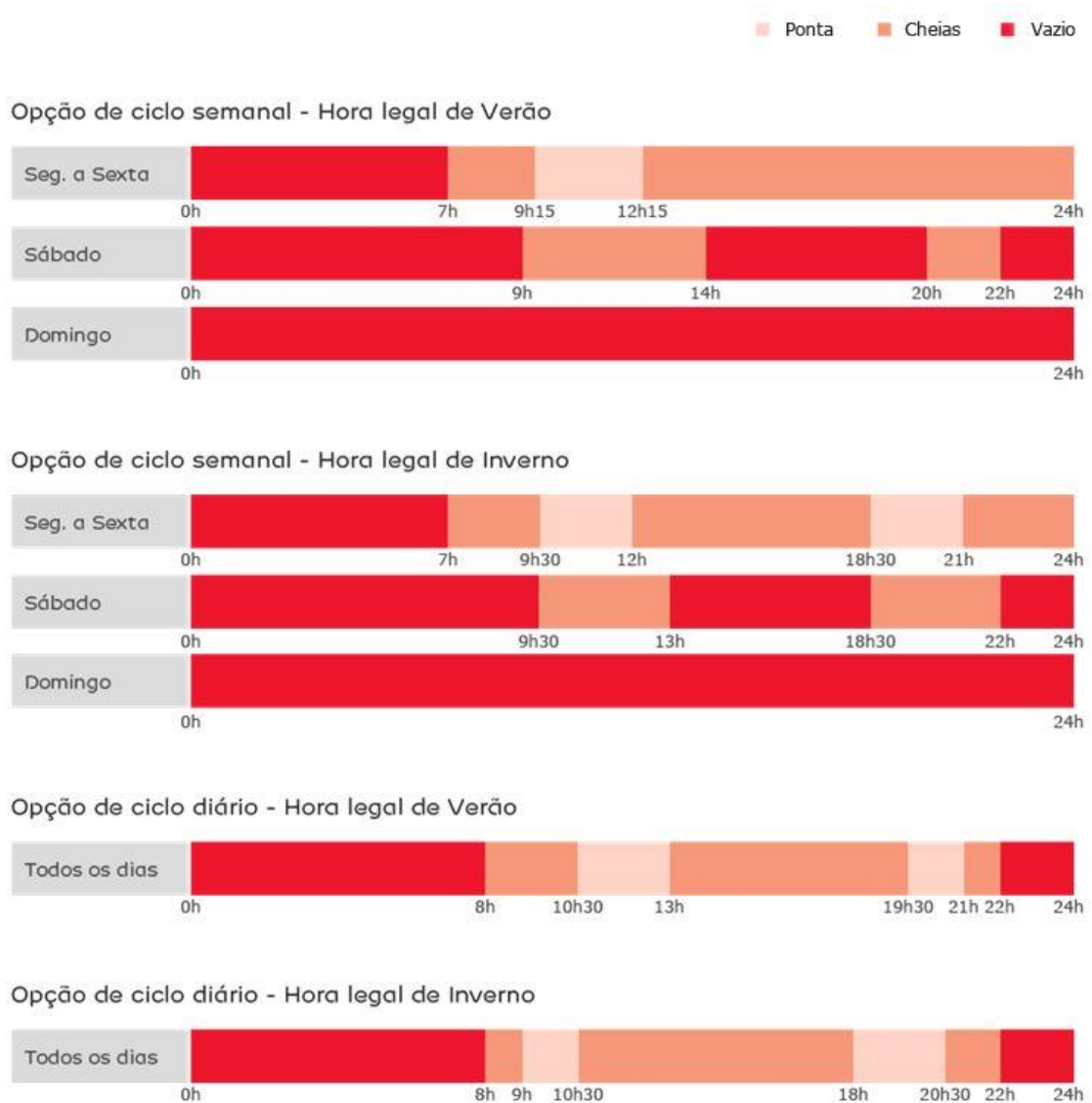


Figura A2.2 – Tarifa tri-horária



## Anexo 3 – Simulações DIALUX

**Resumo:**

*Neste anexo apresenta-se a comparação entre a utilização de lâmpada fluorescente e o seu equivalente LED.*

## Anexo 3.1 – Simulação Fluorescente

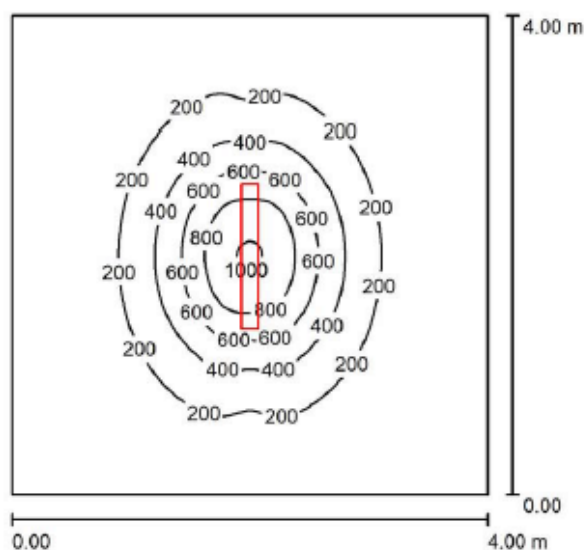
Projecto 1



**DIALux**  
20.07.2017

Editor(a)  
Telefone  
Fax  
e-Mail

### Sala 1 / Emissão em folha única



Altura da sala: 2.000 m, Altura de montagem: 2.000 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:52

Superfície	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano de uso	/	198	23	1016	0.116
Solo	20	169	50	406	0.299
Tecto	80	27	17	31	0.651
Paredes (4)	50	47	19	108	/

Plano de uso:	UGR	Longitudinal-	Transversal	em relação ao
Altura: 0.800 m				eixo da
Grelha: 128 x 128 Pontos	Parede esquerda 18	18	22	luminária
Zona marginal: 0.000 m	Parede inferior 18	18	22	
	(CIE, SHR = 0.25.)			

#### Lista de luminárias

Nº	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	$\Phi$ (Luminária) [lm]	$\Phi$ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	1	PHILIPS TCS165 2xTL5-28W HFP C3 (1.000)	3360	5250	61.0
Total:			3360	5250	61.0

Potência específica:  $3.81 \text{ W/m}^2 = 1.93 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Superfície básica:  $16.00 \text{ m}^2$ )

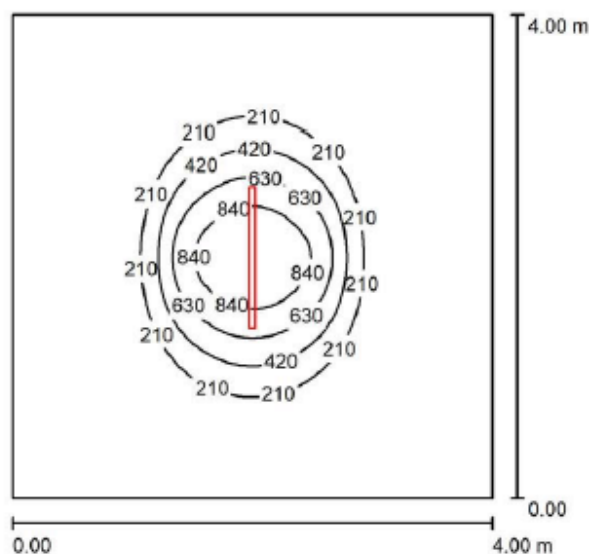
## Anexo 3.2 – Simulação LED

Projecto 1



Editor(a)  
Telefone  
Fax  
e-Mail

### Sala 1 / Emissão em folha única



Altura da sala: 2.000 m, Altura de montagem: 2.000 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:52

Superfície	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano de uso	/	151	10	1014	0.069
Solo	20	145	14	365	0.096
Tecto	80	19	12	24	0.656
Paredes (4)	50	19	13	47	/

Plano de uso:	UGR	Longitudinal-	Transversal	em relação ao
Altura: 0.800 m	Parede esquerda	17	17	eixo da
Grelha: 128 x 128 Pontos	Parede inferior	17	17	luminária
Zona marginal: 0.000 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

#### Lista de luminárias

Nº	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	$\Phi$ (Luminária) [lm]	$\Phi$ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	1	PHILIPS SM530C L1170 1 xLED25S/840 OC (1.000)	2500	2500	18.0
Total:			2500	2500	18.0

Potência específica:  $1.13 \text{ W/m}^2 = 0.74 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Superfície básica:  $16.00 \text{ m}^2$ )



## Anexo 4 – Funções de pertença

**Resumo:**

*Neste anexo apresentam-se os dados para reprodução das funções de pertença utilizadas nos vários controladores.*

## Anexo 4.1 – Controlo de Iluminação e Luminosidade

Neste anexo apresentam-se as tabelas necessárias para reproduzir o controlador de iluminação e luminosidade implementado neste trabalho.

Tabela A4.1 - Controlo de Iluminação e Luminosidade - variável “Luminosidade”

<b>Luminosidade</b>	
Lum.MuitoBaixa	[0; 0,05; 0,2]
Lum.Baixa	[0,1; 0,3; 0,45]
Lum.Media	[0,4; 0,5; 0,6]
Lum.Alta	[0,55; 0,7; 0,9]
Lum.MuitoAlta	[0,8; 1; 1,1]

Tabela A4.2 - Controlo de Iluminação e Luminosidade - variável “HorasDia”

<b>HorasDia</b>	
Madrugada	[1; 1,5; 6; 8]
Manha	[7,5; 8; 9; 9,5]
Vazio	[9; 10; 17; 18]
FimTarde	[17,5; 18; 19; 20]
Noite	[19,5; 20; 23; 24]
Noite2	[0; 0,1; 1; 1,5]

Tabela A4.3 - Controlo de Iluminação e Luminosidade - variável “EstadoEstores”

<b>EstadoEstores</b>	
Fechados	[-0,1; 0; 0,1]
Abertos	[0,9; 1; 1,1]
Intermédio	[1,9; 2; 2,1]

Tabela A4.4 - Controlo de Iluminação e Luminosidade - variável “Iluminação”

<b>Iluminação</b>	
IllumDesligada	[0; 0; 0]
IllumMuitoBaixa	[0; 0,001; 0,2]
IllumBaixa	[0,1; 0,3; 0,45]
IllumMedia	[0,4; 0,5; 0,6]
IllumAlta	[0,55; 0,7; 0,9]
IllumMuitoAlta	[0,8; 1; 1,1]

Tabela A4.5 - Controlo de Iluminação e Luminosidade - variável “ControloEstores”

<b>ControloEstores</b>	
FechaEstores	[-0,1; 0; 0,1]
AbreEstores	[0,9; 1; 1,1]
AbreOuFechaMetade	[1,9; 2; 2,1]
Mantem	[2,9; 3; 3,1]

## Anexo 4.2 – Controlo de Cargas

Neste anexo apresentam-se as tabelas necessárias para reproduzir o controlador de cargas implementado neste trabalho.

Tabela A4.6 - Controlo de Cargas - variável "PotênciaEquipamento"

PotênciaEquipamento	
Standby	[0; 0,1; 9; 10]
Funcionamento	[7; 7,1; 199,9; 200]

Tabela A4.7 - Controlo Cargas - variável "Contador"

Contador	
TempoEstabilizaçao	[0; 0,1; 29,9; 30]
RegimePermanente	[29; 29,1; 59,9; 60]

Tabela A4.8 - Controlo de Cargas - variável "EstadoTomada"

EstadoTomada	
DesligaTomada	[-0,1; 0; 0,1]
MantemTomadaLigada	[0,9; 1; 1,1]

## Anexo 4.3 – Controlo do AVAC

Neste anexo apresentam-se as tabelas necessárias para reproduzir o controlo do AVAC implementado neste trabalho.

Tabela A4.9 - Controlo do AVAC - variável "Pessoas"

Pessoas	
Vazio	[-0,1; 0; 0,1]
PoucasPessoas	[0,9; 1,1; 3,9; 4,1]
AlgumasPessoas	[4,9; 5,1; 9,9; 10,1]
MuitasPessoas	[10,9; 11,1; 20; 20,1]

Tabela A4.10 - Controlo do AVAC - variável "TemperaturaInterior"

TemperaturaInterior	
MuitoFrio	[-0,1; 0; 17; 19,1]
Moderado	[19; 20; 21]
MuitoQuente	[20,9; 23; 40; 40,5]

Tabela A4.11- Controlo do AVAC - variável “PotênciaSaídaAVAC”

<b>PotênciaSaídaAVAC</b>	
MuitoMuitoFrio	[-24000; -23000; -17000; -15000]
MuitoFrio	[-16000; -15000; -8000; -7000]
Frio	[-8000; -7000; -3000; -500]
Desligado	[0; 0; 0]
Quente	[500; 4500; 12000; 14000]
MuitoQuente	[13000; 15000; 23000; 25000]
MuitoMuitoQuente	[24000; 25000; 29000; 30000]

## Anexo 4.4 – Controlo do Armazenamento de Energia

Neste anexo apresentam-se as tabelas necessárias para reproduzir o controlo do armazenamento de energia implementado neste trabalho.

Tabela A4.11 - Controlo do armazenamento de energia - variável “EstadoDaBateria”

<b>EstadoDaBateria</b>	
Descarregada	[0; 0,01; 0,79; 0,8]
Carregada	[0,79; 0,8; 0,99; 1]

Tabela A4.12 - Controlo do armazenamento de energia - variável “HoraDia”

<b>HoraDia</b>	
Madrugada	[0; 0,1; 6,8; 6,9]
Dia	[7; 7,1; 17,8; 17,9]
Noite	[18; 18,1; 23,9; 24]

Tabela A4.13 - Controlo do armazenamento de energia - variável “EstadoPaineisFotovoltaicos”

<b>EstadoPaineisFotovoltaicos</b>	
SemProduzir	[-0,1; 0; 0,1]
AProduzir	[0,9; 1; 1,1]

Tabela A4.14 - Controlo do armazenamento de energia - variável “CarrgamentoBaterias”

<b>CarregamentoBaterias</b>	
NaoCarrega	[-0,1; 0; 0,1]
CarregaER	[0,9; 1; 1,1]
CarregaRede	[1,9; 2; 2,1]

## Anexo 4 – Modelo Térmico da habitação

**Resumo:**

*Neste anexo apresentam-se os modelos dos controladores implementados no MATLAB.*

## Anexo 5.1 – Ficheiro de texto para implementação do modelo

Neste anexo apresentam-se as linhas de código necessárias para executar tanto o modelo sem otimização como o modelo otimizado.

```
% Conversão de radianos para graus
r2d = 180/pi;
% -----
% Geometria da casa
% -----0
% Comprimento da casa = 10 m
lenHouse = 10;
% Largura da casa = 10 m
widHouse = 10;
% Altura da casa = 2,5 m
htHouse = 2.5;
% Inclinação do telhado = 40 deg
pitRoof = 40/r2d;
% Número de janelas = 6
numWindows = 6;
% Altura das janelas = 1 m
htWindows = 1;
% Largura das janelas = 1 m
widWindows = 1;
windowArea = numWindows*htWindows*widWindows;
wallArea = 2*lenHouse*htHouse + 2*widHouse*htHouse + ...
           2*(1/cos(pitRoof/2))*widHouse*lenHouse + ...
           tan(pitRoof)*widHouse - windowArea;
% -----
% Tipo de Isolamento
% -----
% Lã de rocha nas paredes, 0.2 m espessura
% k [J/sec/m/C] – conversão para [J/hr/m/C] (multiplicando por 3600)
kWall = 0.038*3600; % hora é a unidade de tempo
LWall = .2;
RWall = LWall/(kWall*wallArea);
% Janelas de vidro, 0.01 m espessura
kWindow = 0.78*3600; % hora é a unidade de tempo
LWindow = .01;
RWindow = LWindow/(kWindow*windowArea);
% -----
% Determinar a resistência equivalente do edifício
% -----
Req1 = (RWall*RWindow)/(RWall + RWindow);
% c = cp do ar (273 K) = 1005.4 J/kg-K
c1 = 1005.4;
% -----
% Rácio de fluxo de ar - Mdot = 1 kg/sec = 3600 kg/hr
Mdot1 = 3600; % hora é a unidade de tempo
% -----
% Determinar a massa de ar total = M
% -----
% Density of air at sea level = 1.2250 kg/m^3
densAir = 1.2250;
M1 = (lenHouse*widHouse*htHouse+tan(pitRoof)*widHouse*lenHouse)*densAir;
% -----
% Assumindo custo de eletricidade é 0.1942 €/kWh
% 1 kW-hr = 3.6e6 J
```

```
% custo = 0.1942 € per 3.6e6 J
% custo = 0.1942/3.6e6;
custo = 0.1942 /3.6e6;
% Temperatura interior inicial = 15°C
TinC = 15;
% Energia média por pessoa
Epesoa=500;
% Temperatura do Ar do AVAC
THeater1=50;
```



## Anexo 5.3 – Modelo Térmico otimizado

Neste anexo apresenta-se o modelo após aplicação do controlo de AVAC.

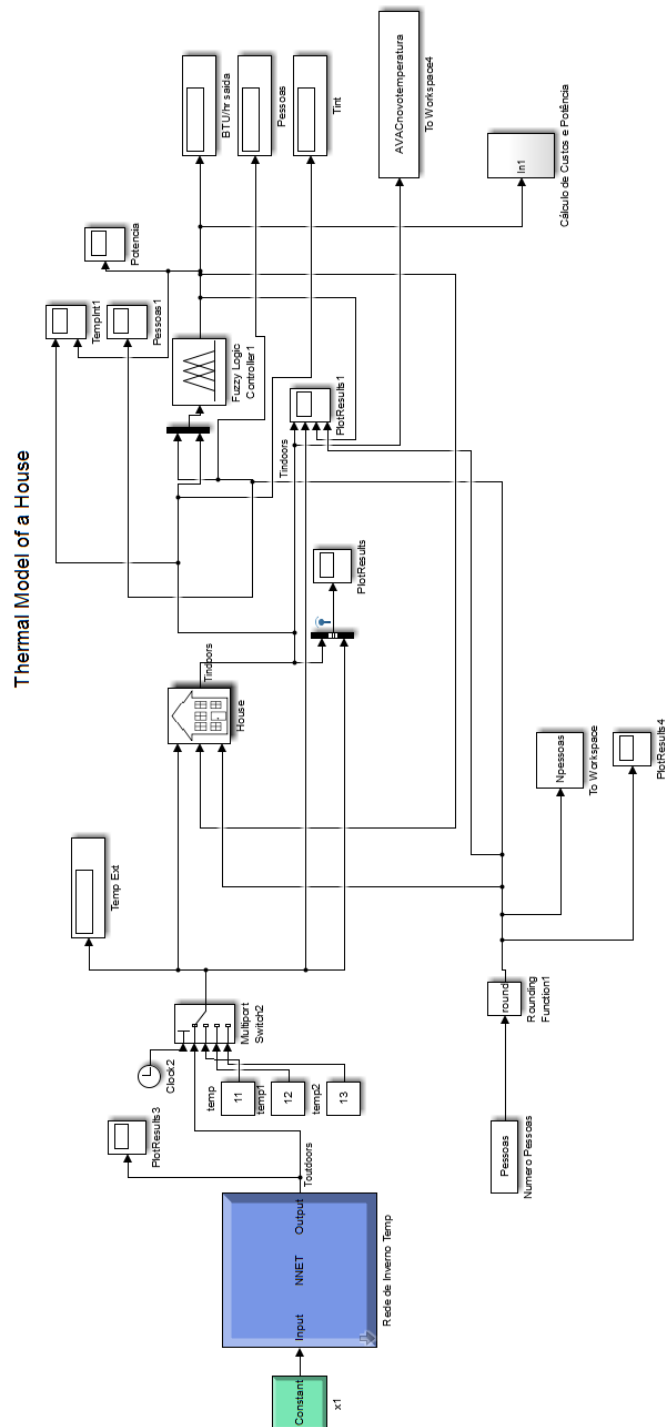


Figura A5.2 – Modelo térmico da casa com implementação do controlador de AVAC

No subsistema são feitas conversões de forma a serem feitas as impressões dos gráficos finais de custos e potência.

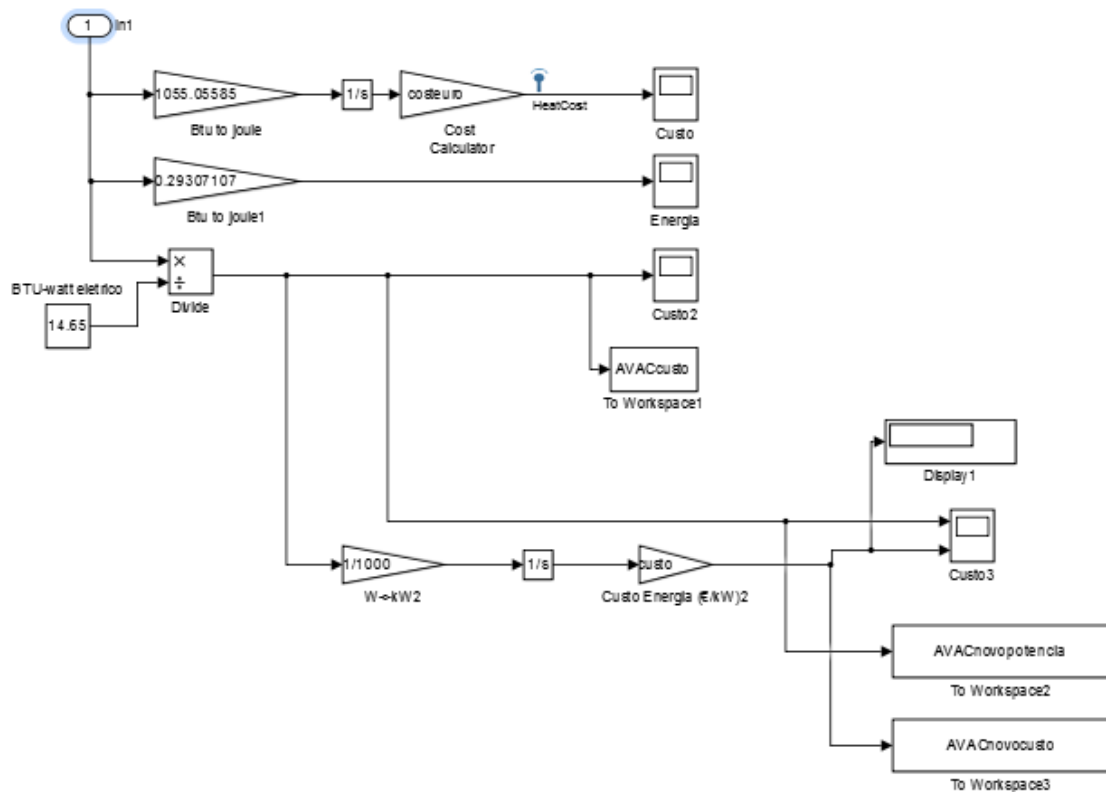


Figura A5.3 – Modelo de cálculo de custos e potência do AVAC

## ANEXO 6 – ASHRAE – Tabela completa

**Resumo:**

*Neste anexo apresenta-se a tabela completa com os valores de libertação de calor por parte das pessoas consoante a sua atividade.*

## Anexo 6.1 – Tabela ASHRAE

Neste anexo apresenta-se a tabela completa com os valores de libertação de calor por parte dos habitantes consoante a atividade física exercida.

Tabela A6.1 – Tabela ASHRAE [7]

Atividade	Libertação de calor [Btu/h]	met	Libertação de calor [W]
Dormir	239,2	0,7	72,8
Encostado	276	0,8	83,2
Sentado (calmo)	331,2	1,0	104,0
Levantado (relaxado)	404,8	1,2	124,8
3,22 km/h	680,8	2,0	208,0
4,83 km/h	883,2	2,6	270,4
6,44 km/h	1288	3,8	395,2
Ler (sentado)	331,2	1,0	104,0
Escrever	368	1,1	114,4
Arquivar (sentado)	404,8	1,2	124,8
Arquivar (levantado)	478,4	1,4	145,6
Perambular	570,4	1,7	176,8
Levantar/Empacotar	717,6	2,1	218,4
Conduzir Carro	331,2 a 680,8	1,0 a 2,0	104,0 a 208,0
Conduzir Aeronave	404,8	1,2	124,8
Aterrar Aeronave	607,2	1,8	187,2
Combate Aeronave	809,6	2,4	249,6
Conduzir Veiculo Pesado	1085,6	3,2	332,8
Cozinhar	533,6 a 680,8	1,6 a 2,0	166,4 a 208,0
Limpeza	680,8 a 1159,2	2,0 a 3,4	208,0 a 353,6
Sentado (elevado movimento de pernas)	754,4	2,2	228,8
Serrar Mesa	607,2	1,8	187,2
Trabalho Leve (Industria Elétrica)	680,8 a 809,6	2,0 a 2,4	208,0 a 249,6
Trabalho Pesado (Industria Elétrica)	1361,6	4,0	416,0
Levantamento de Sacos (50 kg)	1361,6	4,0	416,0
Trabalho de pá e picareta	1361,6 a 1619,2	4,0 a 4,8	416,0 a 499,2
Dançar	809,6 a 1490,4	2,4 a 4,4	249,6 a 457,6
Exercícios Diversos	1012,0 a 1361,6	3,0 a 4,0	312,0 a 416,0
Tenis a solo	1214,1 a 1361,6	3,6 a 4,0	374,4 a 416,0
Basketball	1656,0 a 2576,0	4,9 a 7,6	509,6 a 790,4
Wrestling competitivo	2392,0 a 2944,0	7,1 a 8,7	738,4 a 904,8